

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA
OSTRAVA**

HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA

Institut environmentálního inženýrství

**VYHODNOCENÍ ÚČINNOSTI ČISTÍCÍHO PROCESU ČOV
RAKVICE**

Efficiency analysis of the treatment process in the Rakvice WWTP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Veronika Běhunčíková

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Veronika Běhunčíková

Studijní program:

N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

2102T006 Technologie a hospodaření s vodou

Téma:

Vyhodnocení účinnosti čistícího procesu ČOV Rakvice
Efficiency analysis of the treatment process in the Rakvice WWTP

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Popis území, základní údaje o recipientu
3. Popis původní a nové ČOV – technologicky a stavebně
5. Přepočet nové čistírny na reálné průtokové hodnoty
6. Vyhodnocení a návrh řešení
7. Diskuze a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

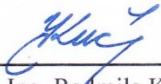
PYTL a kol.: Příručka provozovatele čistírny odpadních vod, Praha SOVAK 2004, ISBN 80-239-2528-8
MALÝ J., HLAVÍNEK P.: Čištění průmyslových odpadních vod, 1. Vydání, NOEL 2000, 1996.
WANNER, J., HLAVÍNEK, P.: Moderní trendy v čištění odpadních vod, Brno: NOEL 2000, 1997.
CHUDOBA, J. DOHÁNYOS, M. WANNER, J.: Biologické čištění odpadních vod, 1.vyd., Praha 1991.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

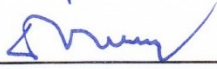
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016


doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová
vedoucí institutu




prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
děkan fakulty

PROHLÁŠENÍ

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užit (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užit díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 25. 4. 2016

Bc. Veronika Běhunčíková



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí diplomové práce doc. Ing. Silvii Heviánkové, Ph.D. za odborné rady, připomínky a poskytnuté konzultace. Dále děkuji pracovníkům společnosti Vodovody a kanalizace Břeclav, a.s. zejména Ing. Antonínu Hrabalovi, Otě Dubinovi a Jaromíru Koláři za ochotu, cenné informace a pomoc při zpracování práce.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá intenzifikací čistírny odpadních vod v obci Rakvice, nacházející se v okrese Břeclav. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části je popsána původní čistírna typu HYDROVIT - 500 S, její typové provedení, popis technologického procesu a řízení. Další část tvoří charakteristika nové nízko zatížené aktivace se stabilní nitrifikací a simultánním srážením fosforu, která v roce 2015 nahradila původní, nevyhovující čistírnu. V praktické části je proveden přepočet nové čistírny na reálné průtokové hodnoty z hydraulického hlediska při vysokém nátoku balastních vod. Součástí praktické části je i návrh řešení zamezení vniku balastních vod, včetně odhadu cenové kalkulace projektu. V závěru je uvedeno vyhodnocení zjištěných poznatků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Čistírna odpadních vod, HYDROVIT – 500 S, balastní vody, směšovací aktivace, hydraulika čistírny odpadních vod

SUMMARY

The thesis describes the intensification of the wastewater treatment plant in the Rakvice, located in the district of Břeclav. The thesis is divided into the theoretical and practical part. The theoretical part describes the original wastewater treatment plant type HYDROVIT - 500 S, its design type, description of the technological process and operation. Next is the characterization of new low-loaded activation with a stable simultaneous nitrification and phosphorus precipitation that have replaced the original, inadequate wastewater in 2015. In the practical part is recalculated new wastewater to the real flow value of hydraulically at high inflow of infiltration water. In the practical part is also solution proposal that prevent ingress of infiltration water, including an estimate of the price calculation of the project. In the conclusion is specified an evaluation of findings.

KEY WORDS

Wastewater Treatment Plant, HYDROVIT – 500 S, infiltration water, mixing activation, hydraulics wastewater treatment plant

OBSAH

1. Úvod a cíl	1
1.1 Úvod	1
1.2 Cíl práce.....	2
2. Popis území, základní údaje o recipientu	3
2.1 Obec Rakvice.....	3
2.2 Hydrologické poměry	3
3. Popis původní a nové čov – technologicky a stavebně	5
3. 1 Stav odkanalizování před vybudováním čistírny odpadních vod	5
3. 2 Popis původní ČOV	6
3. 3 Popis nové ČOV	11
4. Přepočet nové čistírny na reálné průtokové hodnoty	32
4. 1 Balastní vody	32
4. 2 Stanovení množství balastních vod	34
4. 3 Hydraulické zatížení ČOV.....	35
5. Vyhodnocení a návrh řešení.....	48
5. 1 Návrh řešení - zamezení vniku balastních vod	52
5. 2 Vyhodnocení účinnosti čistícího procesu nové technologické linky.....	55
6. Diskuze a závěr.....	59
7. Seznam použité literatury.....	61
8. Seznam obrázků, tabulek, příloh.....	64
8. 1 Seznam obrázků.....	64
8. 2 Seznam tabulek.....	64
8. 3 Seznam grafů	65

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČSN	Česká státní norma
EO	Ekvivalentní obyvatel
ČOV	Čistírna odpadních vod
m n. m.	Metrů nad mořem (nadmořská výška)
BSK	Biochemická spotřeba kyslíku
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
NL	Nerozpuštěné látky
N _{celk}	Celkový dusík
P _{celk}	Celkový fosfor
N-NH ₄ ⁺	Amoniakální dusík
DN	Diametre Nominal (jmenovitá světlost)
MUBR	Městský úřad Břeclav
SO	Stavební objekt
PS	Provozní soubor
HTÚ	Hrubé terénní úpravy
NN	Nízké napětí
ČS	Čerpací stanice

1. ÚVOD A CÍL

1.1 Úvod

Lidská populace svojí činností významně ovlivňuje kvalitu všech složek životního prostředí, včetně přírodních vod. Česká republika patří ke státům, jejichž vodní zdroje jsou v přepočtu na obyvatele velmi omezené. Většina významných vodních toků z našeho území odtéká, proto je nutné s ní vhodně hospodařit. Vodní zdroje pro výrobu pitné vody opakovaně a neustále využíváme, proto jsou nároky na její následné čištění velmi přísné.

Současná legislativa klade stále větší nároky na provozovatele a majitele vodohospodářské infrastruktury. Vodárenské společnosti vynakládají velké finanční náklady na obnovu stokových soustav, provozních objektů a čistíren odpadních vod, aby co nejvíce snížily dopady na bilanční znečištění vodních toků. Pro rychlejší obnovu k dosažení cílů mohou majitelé kanalizací a ČOV využít několika programů v oblasti životního prostředí, jako např. Fond soudržnosti, Operační program životní prostředí apod. Tento nástroj využila i společnost Vodovody a kanalizace Břeclav, a.s., pod kterou spadá ČOV Rakvice.

Diplomová práce pojednává o vyhodnocení čistícího procesu čistírny odpadních vod v Rakvicích, které jsou přepočteny na reálné průtokové hodnoty. Práce se rozděluje na část teoretickou a praktickou. V první části je uveden popis území a hydrologické poměry zájmového území. Následující kapitola charakterizuje stav odkanalizování před vybudováním čistírny odpadních vod, jejíž podstata spočívala v rychlém odvedení splaškových vod z území obce. Závěrečný díl teoretické části uzavírá popis původní technologie tvořící stavebnicovou typovou ČOV HYDROVIT – 500 S a novou čistírenskou linku nízko zatížené směšovací aktivace se stabilní nitrifikací a se simultánním srážením fosforu. Nová technologie ČOV je detailně popsána jak po stavební stránce, tak po stránce technologické.

Praktická část pojednává o reálně naměřených hodnotách balastních vod a jejich negativním projevení na hydraulice nové technologie ČOV. V začátku tohoto dílu je vysvětlen pojem balastních vod, tedy vod infiltrovaných nejčastěji netěsnostmi spojů kanalizačních trub. Následuje kapitola stanovení množství balastních vod, které se určí pomocí minimálních bezdeštných průtoků. Závěr praktické části tvoří výpočet vlivu zjištěného nátoky infiltrovaných vod na hydrauliku a látkové zatížení aktivační

a dosazovací nádrže. Zároveň je provedeno vyhodnocení zkušebního provozu nové technologické linky.

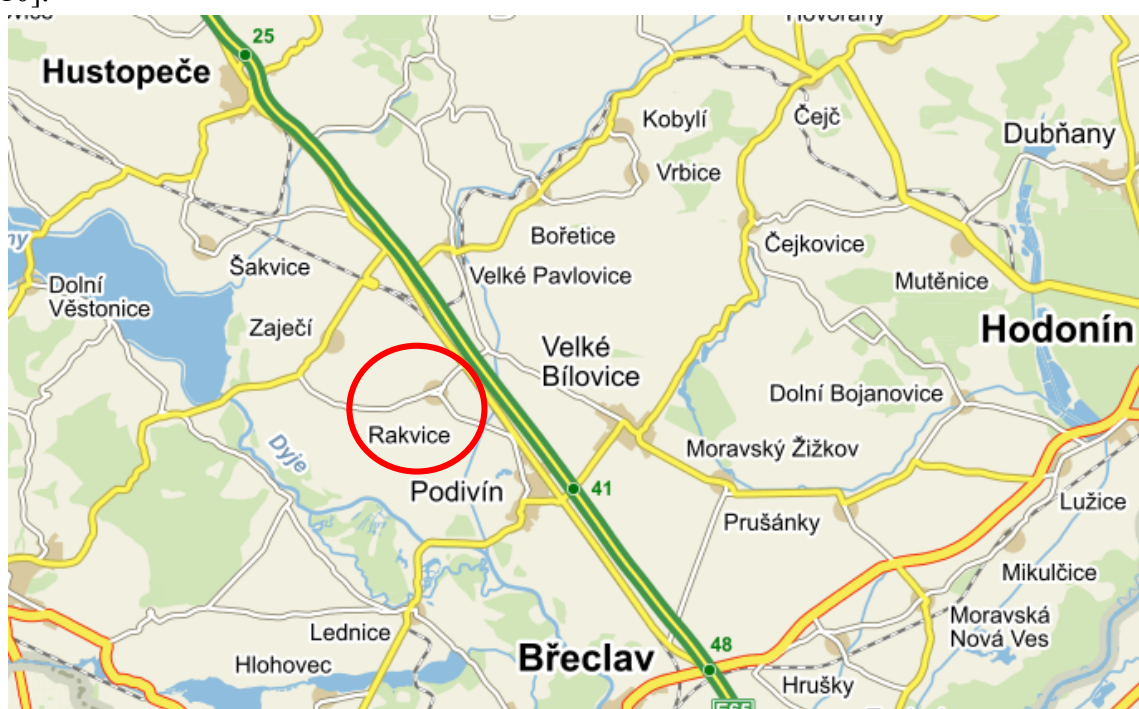
1.2 Cíl práce

Cílem práce je zjištění vlivu většího nátoky balastních vod na hydraulickou a látkovou kapacitu rekonstruované čistírny odpadních vod v Rakvicích a vyhodnocení její účinnosti.

2. POPIS ÚZEMÍ, ZÁKLADNÍ ÚDAJE O RECIPIENTU

2.1 Obec Rakvice

Obec Rakvice se nachází v jihomoravském kraji, okres Břeclav, poblíž hranic Slovenské a Rakouské republiky, v nadmořské výšce 164 m n. m. Celková rozloha obce je 2 177 ha, z toho 1 903 ha tvoří zemědělská půda, zastavěná plocha činná 37,1 ha. Zbytek rozlohy tvoří lesní porosty. Rakvice patří do Mikroregionu Lednicko – valtického areálu, jehož území tvoří katastry měst Břeclav, Podivín, Valtice a Velké Bílovice a obcí Bulhary, Ladná, Lednice, Hlohovec, Přítluky. K 1. 1. 2016 je v obci evidováno 2 127 obyvatel [9, 10].



Obrázek 1 Situace širších vztahů [11]

2.2 Hydrologické poměry

Nejbližším vodním tokem obce Rakvice, sloužící i jako recipient vyčištěných odpadních vod, je řeka Trkmanka protékající okresy Hodonín a Břeclav.

Trkmanka s hydrologickým pořadím 4-17-01-0441 pramení v Ždánickém lese, severozápadně od města Ždánice. Plocha povodí řeky činí cca 338,08 km², s délkou páteřního toku 21,4 km. V tomto útvaru protéká ze Ždánic kolem obcí Dražůvky, Želetice a Násedlovice. U města Podivín se vlévá zleva do řeky Dyje. V obci Bořetice a za městem Velké Pavlovice se nachází měrné monitorovací profily jakosti vody. Poslední monitorovací profil je umístěn u výusti řeky Dyje. Průměrný dlouhodobý roční

průtok vody korytem řeky je 0,4775 m³/s. Průměrná roční výška srážek je 554 mm [13, 17].

M	Počet dnů	30	90	180	270	330	335	364
Qm	m ³ .s ⁻¹	1,101	0,551	0,301	0,160	0,070	0,030	0,002

Tabulka 1 M – denní průtoky v m³.s⁻¹ [17]

M	Počet dnů	1	2	5	10	20	50	100
Qm	m ³ .s ⁻¹	6,0	9,0	14,5	19,5	25,0	33,0	40,0

Tabulka 2 N – leté průtoky v m³.s⁻¹ [17]

Území kolem řeky Trkmanky je nejvíce využíváno zemědělskou činností, zabírající téměř 61 % veškeré plochy. Následují smíšené zemědělské oblasti, uměle přetvořené plochy, lesy a polopřirodní vegetace [13].

Vodní tok Trkmanka se dlouhodobě řadí, z ekologického hlediska, k nevyhovujícím vodním útvarům. Tento fakt je zapříčiněn zejména značným množstvím zdrojů znečištění, jako je zemědělství, průmysl a vinařství. Dalším neméně důležitým faktem je, že Trkmanka, v poměru k množství přitékajícího znečištění je málo vodnatý tok. Její ředící schopnost je omezena a samočistící schopnost je významnou hydromorfologickou regulací snížena. Zatížení vodního toku představují zejména ukazatele celkového fosforu, amoniakálního dusíku a BSK₅ [12].

3. POPIS PŮVODNÍ A NOVÉ ČOV – TECHNOLOGICKY A STAVEBNĚ

3. 1 Stav odkanalizování před vybudováním čistírny odpadních vod

Odkanalizování obce Rakvice před vybudováním čistírny odpadních vod v r. 1990 bylo řešeno pomocí jednotných kanalizačních sběračů, odvádějících odpadní a dešťovou vodu společně, umístěných pouze v některých částech obce Rakvice, vybudované v rámci tzv. akcí „Z“. Budování těchto kanalizačních stok probíhalo většinou bez jakékoliv projektové dokumentace, popřípadě se žádný náskres ani situace průběhu stok do dnešních dnů nedochoval.

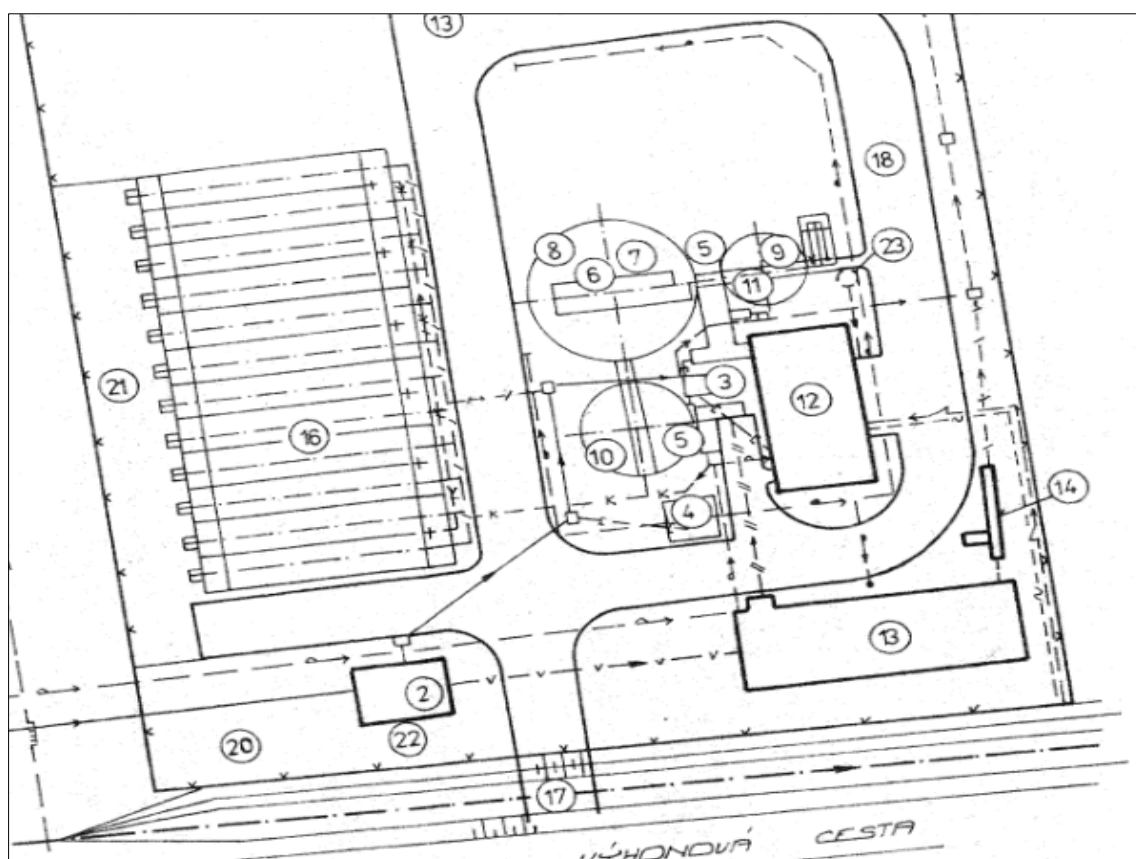
Dle projektových dokumentací novějších staveb se dalo vyčíst, že nejdříve byly zbudovány kanalizační sběrače v ulici Družstevní, jehož počátek byl v ulici Svislá, a v ulici Zahradní. Pravděpodobně se následně začala budovat kanalizační stoka v ulici Dolní z železobetonových trub DN 1000 mm (stoka B a B1) po obou stranách ulice, vedoucí dále až ke státní silnici III/4226. Všechny stoky se sbíhaly u komunikace III/4226 a odváděly odpadní vody do melioračního odpadu O II., dnes známém jako Štorchova příkopa. V roce 1975 byla vybudována další kanalizační stoka C v ulici Na Řádku, postavená ze dvou železobetonových trub DN 1000 mm, které jsou uloženy vedle sebe a zaústěny do kmenové stoky B odkanalizující ulici Dvorní. Současně s budováním kanalizačních stok velkých dimenzí probíhala i výstavba vedlejších větví kanalizací v různých částech obce [8].

V roce 1990 se v rámci výstavby čistírny odpadních vod vybudovala soutoková a odlehčovací komora v místě sbíhání všech původních kanalizačních stok. Od této komory dále pokračovala souběžně dvě ramena kanalizace z železobetonových trub DN 1000 mm, odvádějící odpadní vodu na ČOV, a jedna odlehčovací stoka o průměru 800 mm vyústěná do odvodňovacího příkopu u nezpevněné komunikace vedoucí kolem čistírny.

3. 2 Popis původní ČOV

V dubnu r. 1990 začala výstavba nové čistírny odpadních vod na základě projektové dokumentace zpracované společností HYCO Břeclav pod názvem akce: Rakvice – kanalizace a ČOV – 1. stavba. Investorem akce byl městský národní výbor Rakvice, provozovatelem společnost Jm VaK OZ Břeclav. Stavba ČOV byla povolena rozhodnutím s č. j. 26/90 – 235/Va ze dne 4. 1. 1990 vydané okresním národním výborem v Břeclavi, odborem vodního a lesního hospodářství a zemědělství.

Čistírna odpadních vod byla navržena jako mechanicko – biologická v typovém provedení HYDROVIT – 500 S (viz obrázek č.), patřící do kategorie stavebnicových čistíren, vyvinutá na základě spolupráce VŽSKG Vítkovice, HDP Praha a VŠCHT Praha [1].



Obrázek 2 Situace čistírny HYDROVIT – 500 S [6]

Základní údaje typového provedení ČOV HYDROVIT – 500 S - dle výrobce [2]

- EO: 1 260
- Přítok odpadní vody: 500 m³/d; 20,8 m³/h; 5,8 l/s
- Přivedené organické znečištění BSK₅: 0,060 kg/EO/den; 75,6 kg/den
- Přivedení nerozpuštěných látek NL: 0,055 kg/EO/den; 69,3 kg/den

Bilance znečištění odpadních vod přitékající na ČOV [2]

- Průměrný přítok odpadní vody Q_d: 495 m³/d; 20,6 m³/h; 5,7 l/s
- Maximální přítok odpadní vody Q_{max}: 1 092 m³/d; 45,5 m³/h; 12,64 l/s
- Minimální přítok odpadní vody Q_{min}: 363 m³/d; 15,12 m³/h; 4,2 l/s
- Organické znečištění BSK₅ na přítoku: 71,48 kg/den
- Nerozpuštěné látky NL na přítoku: 65,55 kg/den

Popis technologických procesů a zařízení

Čištění odpadních vod pomocí zařízení HYDROVIT – 500 S se sestávalo ze základních čistících procesů:

- Oddělení splaškových a dešťových vod pomocí dešťové zdrže,
- mechanického předčištění,
- sedimentace písku v lapači písku,
- primární sedimentace probíhající v kruhové šterbinové usazovací nádrži,
- biologického čištění v selektorové aktivační nádrži,
- oddělení aktivovaného kalu v dosazovací nádrži,
- vyhnívacího procesu ve šterbinové nádrži,
- odvodnění kalu na kalových polích.

Odpadní voda z jednotné kanalizace obce Rakvice natékala do rozdělovací šachty, poté samospádem do čerpací stanice. Čerpací nádrž představovala kruhovou válcovou nádrž o průměru 3,2 m, výšky 4,45 m, svařená z ocelových plechů, rozdělena na nátokovou a kalovou část. Všechna odpadní voda nejdříve protékala přes česlicový koš, umístěný v nátokové části, který byl po naplnění shrabky vyzvednut ručním zvedákem [1, 2]. Shrabky z česlicového koše byly odvodňovány na kalových polích. Kalová část čerpací stanice sloužila i k odměřování denního množství přebytečného kalu. Aerobně stabilizovaný přebytečný kal byl přepouštěn do spodní nátokové části nádrže. Odpadní

voda zbavená shrabků se čerpala z kalové části čerpací stanice přes regulační žlab, kde docházelo k regulaci přítoku na biologický stupeň tím, že část přitékajících odpadních vod byla odvedena zpět do vstupní čerpací stanice. Ze spodní nádrže byl kal čerpán přes lapač písku do šterbinové nádrže o výšce 8,4 m a průměru 8,6 m, rozdělenou na část usazovací o objemu 100 m³ a mechanizační o objemu 243 m³. Zachycený písek v lapači byl odčerpáván pomocí vzduchových čerpadel (mamutek) do přistaveného vozíku. Prostory usazovací a vyhnívací, ve šterbinové nádrži, byly odděleny stropem tvořeným šikmými deskami s minimálním sklonem 1,25 : 1. Přiváděná odpadní voda nejdříve protékala horním usazovacím prostorem. Usaditelné látky se sesouvaly po strmých deskách, které oddělovaly oba prostory a propadaly úzkou šterbinou v úžlabí do vyhnívacího prostoru. Plovoucí látky v horní usazovací části se odstraňovaly ručním způsobem, nebo se využilo hydrostatického tlaku při přepouštění do kalové části čerpací stanice. V methanizační části šterbinové nádrže docházelo k anaerobní stabilizaci přebytečného a surového kalu, při níž došlo ke zmenšení objemu kalu, jeho stabilizaci a zahuštění za vzniku methanu a oxidu uhličitého, které stoupaly v bublinkách vzhůru. Bublíny plynu nesměly pronikat do usazovacího prostoru, protože by vynášely hnilobné částičky kalu a došlo by k infikování čerstvé odpadní vody [2, 3]. Stabilizovaný vyhnitý kal byl přepouštěn do kalové části čerpací stanice nebo uskladňovací nádrže umístěné vedle šterbinové nádrže a biologické aktivační nádrže (viz obrázek č.).



Obrázek 3 pohled na uskladňovací, šterbinovou a aktivační nádrž [Zdroj: archiv autora]

Ze šterbinové nádrže byla odpadní voda přepouštěna žlabem do aktivační nádrže ze smaltovaných plechů o průměru 12 m a výšce 5,7 m umístěné okolo šterbinové nádrže. Obě nádrže tvořily jednotný nedělitelný celek. Spodní část aktivační nádrže byla opatřena osmi průtočnými přepážkami, které ji dělily na samostatné sekce vybavené provzdušňovacím zařízením. Čtyři sekce tvořily nitrifikační část, kde byly osazeny provzdušňovací elementy z novodurových trubek průměru 50 mm tvořící bubliny o velikosti 4 – 10 mm – středobublinná aerace. První sekce byla sazena 4 elementy, druhá třemi, třetí dvěma a poslední sekce jedním provzdušňovacím perem. Další 4 sekce sloužily pro denitrifikaci, v jejíž části byly osazeny provzdušňovací elementy po jednom kusu v každé sekci, které zajišťovaly míchání aktivační směsi. Nátok odpadních vod z odváděcího žlabu byl veden na začátek denitrifikace, kde docházelo k biochemické redukci dusičnanů na oxidy dusíku až na elementární dusík, který se odvětrával do ovzduší. Denitrifikace probíhala v anoxických podmínkách, kterých bylo docíleno udržováním nízké koncentrace rozpuštěného kyslíku pod hodnotu 0,5 mg/l. Do prostoru s denitrifikační fází byla zaústěna i recirkulace vratného kalu z dosazovací nádrže a aktivační směsi z konce nitrifikační části. Dopravu vratného kalu a aktivační směsi zajišťovala vzduchová čerpadla. Následně odpadní voda protékala provzdušňovanou částí aktivační nádrže, kde docházelo k nitrifikaci, tedy biochemické oxidaci amoniakálního dusíku na dusitany a dále na dusičnany. V této části se rozpuštěný kyslík udržoval na hodnotě 2 mg/l, tedy v prostředí oxickém. V případě mimořádné události byla aktivační nádrž osazena havarijním přepadem zaústěným do kalového potrubí. Při přetrvávajících potížích bylo možné šterbinovou nádrž i aktivační část obtokovat [2, 4].

Z nitrifikační části aktivační nádrže byl aktivovaný kal kontinuálně dopravován do dosazovací nádrže přes ukliďňovací válec. Dosazovací nádrž s typovým označením Sigma 060040 byla tvořena ocelovou otevřenou nádrží ze smaltovaných plechů tl. 6 mm, opatřenou tepelnou izolací z minerální plsti. Průměr nádrže činil 6 m, výšky 5, 7 m, jejichž celkový objem byl 135 m³. Nádrž sloužila k separaci biomasy (aktivovaného kalu a strženého biofilmu) od vyčištěné odpadní vody, kdy současně docházelo k zahuštění kalu na hodnotu okolo 1 %. Usazený a částečně zahuštěný kal byl shrabován sběračem u dna nádrže do středového potrubí a vzduchovým čerpadlem přečerpáván do denitrifikační části aktivační nádrže, případně jako přebytečný kal čerpán do kalové části čerpací stanice. Vyčištěná odpadní voda odtékala přes pilový přepad do měrného Parshallova žlabu, kde byl umístěn indukční průtokoměr [5].

Pro zachycení dešťové události sloužila dešťová zdrž umístěná u provozní budovy tvořená monolitickou betonovou nádrží o půdorysných rozměrech 18 x 6 x 2,75 m. Naředená odpadní voda nejdříve natékala do rozdělovací komory, která byla opatřena ocelovými trubkami DN 200, přes které se průtok vody rovnoměrně rozdělil po dešťové nádrži. Při trvání přívalového deště a naplnění nádrže došlo k odtoku kanalizační rourou DN 300, umístěné ve výšce cca 1,8 m, přes měrný Venturiho žlab do recipientu Štorchovy příkopy. Při ukončení dešťové události byl objem nádrže gravitačně vypuštěn odtokovým potrubím do čerpací jímky. Usazené částice byly stírány do nejnižší sedimentační části pomocí mostového shrabováku a následně kalovým šoupátkem čerpány do kalové části čerpací nádrže, umístěným v armaturní šachtě u stěny dešťové jímky [2, 6].

Pro odvodnění kalu z uskladňovací nádrže byla vybudována kalová pole o vnějších rozměrech 3 m na šířku a 18 m na délku, rozdělená po 12 sekcích, vyrobená jako prefabrikáty tvaru U (viz Obrázek č.). V prefabrikátu jsou uloženy drenážní trubky z polyethylenu DN 110 mm. Jako drenážní vrstva pro odvodnění kalu sloužil štěrk frakce 32 – 63 mm, kamenná drť frakce 16 – 32 mm, drť frakce 8 - 16 mm. Finální vrstvu tvořilo těžené drobné kamenivo frakce 0 – 8 mm. Odvodňovací potrubí bylo ukončeno v horním konci větrací a proplachovou šachtou, v dolní části šachtou o vnějších rozměrech 600 x 600 mm. Kal se napouštěl na kalová pole v průměrné výšce 30 cm [6, 7].



Obrázek 4 pohled na kalová pole [Zdroj: archiv autora]

Pro potřeby obsluhy a umístění technologických zařízení byla vystavěna jednopodlažní provozní budova obdélníkového půdorysu 13,6 x 7 m o zastavěné ploše 95,20 m². Objekt byl rozdělen na předsíň, denní místnost pro obsluhu čistírny, hygienické zázemí, garáž, dílnu, sklad a dmychárnu. V místnosti dmychárny bylo umístěno vzduchové dmyhadlo s rotačními písty typu HAFI řady GMa a vzduchový kompresor 3 pístový se vzdušníkem o výkonu 75 m³/hod, který zajišťoval tlakový vzduch pro čerpadlo umístěné v lapáku písku [2, 6].

3.3 Popis nové ČOV

Původní čistírna odpadních vod v typovém provedení HYDROVIT - 500 S, vybudovaná v roce 1990 na okraji obce Rakvice, během následujících let přestala plnit limity nařízené rozhodnutím o povolení k nakládání s vodami pod č. j. MUBR 12767/2010 ze dne 31. 3. 2010 platné do 30. 6. 2015. Rozhodnutí bylo vydáno městským úřadem Břeclav, odborem životního prostředí.

Původní čistírenská technologie nebyla schopná celoročně nitrifikovat. Největší problémy měla zejména s vysokými koncentracemi amoniakálního dusíku na odtoku a nedokázala vyčistit velké výkyvy biologického znečištění, které přiteklo z obce. Odpadní vody z Rakvic jsou často značně biologicky i chemicky přetížené z důvodu vinařských provozů a zemědělské produkce. Z výše uvedených důvodů se začala připravovat rekonstrukce nové technologické linky ČOV.

Rekonstrukce čistírny odpadních vod začala po schválení podpory z Operačního programu životní prostředí, vydání stavebního povolení MÚ Podivín, vydání stavebního povolení a povolení k vypouštění odpadních vod MÚ Břeclav a jiných úkonů důležitých k opravě ČOV. Zadávací a realizační dokumentaci vypracovala společnost AQUA PROCON s.r.o.

V září r. 2014 došlo k zahájení rekonstrukce čistírny na základě stavebního povolení vydaného Městským úřadem Břeclav, odborem životního prostředí pod č. j. MUBR 32261/2014 ze dne 26. 5. 2014. Součástí bylo i povolení k vypouštění odpadních vod. V souladu s ustanovením § 8 odst. 1 písm. c) vodního zákona a nařízením vlády č. 61/2003 Sb. (nařízení vlády č. 61/2003 bylo zrušeno a nahrazeno předpisem 401/2015 Sb. účinným od 1. 1. 2016) nařídil vodoprávní úřad hodnoty koncentrace znečištění ve vypouštěných OV a množství vypouštěného znečištění:

Ukazatel	„p“ [mg/l]	„m“ [mg/l]	t/rok
CHSK _{cr}	70	120	13,30
BSK ₅	18	25	3,42
NL	20	30	3,80
N-NH ₄ ⁺	8	15*	1,52
P _{celk.}	2	5	0,38
N _{celk.}	sledovat		

Tabulka 3 Hodnoty koncentrace znečištění ve vypouštěných OV a množství vypouštěného znečištění nařízené OŽP Břeclav [19]

* Hodnota platí pro období, ve kterém je teplota OV na odtoku z biologického stupně vyšší než 12°C.

„p“ přípustná koncentrace znečištění vypouštěných vod

„m“ maximální koncentrace znečištění vypouštěných vod

Odběr vzorků je stanoven s četností 12x ročně, typem vzorku „B“ – 24 hodinový směsný vzorek, získaný sléváním 12 objemově stejných vzorků. Směsný vzorek musí být odebírán v intervalu 2 hodin.

Množství vypouštěných vod	
Průměrné	6,0 l/s (518 m ³ /den)
Maximální	16,0 l/s
Maximální měsíční	20,0 tis. m ³ /měs.
Roční	190,0 tis. m ³ /rok

Tabulka 4 Povolené množství vypouštěných vod dle OŽP Břeclav [19]

Vodoprávní úřad Břeclav nepovolil během výstavby čistírny odpadní vody mírnější hodnoty koncentrací znečištění, takže limity stanovené povolením k vypouštění vod uvedené v tabulce 1 a 2 jsou směrodatné i pro zkušební a trvalý provoz.

V rámci Operačního programu životní prostředí jsou stanoveny odlišné parametry výsledného vypouštěného znečištění oproti hodnotám, které nařídil vodoprávní úřad v Břeclavi (viz tabulka 3). Vyhodnocení zkušebního provozu nové čistírny odpadních vod muselo být vyhotoveno jak vůči operačnímu programu, tak i odboru životního prostředí Břeclav. Požadované snížení znečištění v tunách za kalendářní rok, vůči operačnímu programu Životní prostředí, je popsáno v tabulce 5.

Látkové zatížení	Odstraněno před realizací [t/rok]	Odstraněno po realizaci [t/rok]	Odstraněno navíc [t/rok]
CHSK _{Cr}	63,15	70,63	7,48
BSK ₅	37,87	42,41	4,54
NL	24,63	29,09	4,46
Pcelk	0,43	0,59	0,16
Ncelk	3,06	3,14	0,08
N-NH ⁴⁺	2,39	2,39	0,00

Tabulka 5 Celkové snížení likvidovaného znečištění dle OPZP [21]

Čistírna odpadních vod je navržena na kapacitu 2 530 EO. Kapacita není navržena pouze na počet obyvatel, ale započteny jsou i drobné živnosti, ubytování, restaurace a domov seniorů [17]:

- počet obyvatel Rakvic 2 135 EO
- drobné živnosti 10 EO
- ubytování 80 EO
- restaurace 233 EO
- domov pro seniory 49 EO

Technologie čistírny je navržena jako nízkozátěžová se stabilní nitrifikací a se simultánním srážením fosforu a zachycením na mikrosítovém filtru. Nízko zatížený aktivační systém se vyznačuje hodnotami objemového zatížení kalu $B_v = 0,1 - 0,3 \text{ kg.m}^{-3}\text{d}^{-1}$, látkovým zatížením kalu $B_x = 0,05 - 0,08 \text{ kg.m}^{-3}\text{d}^{-1}$, stářím kalu Θ_x nad 20 dní a dobou zdržení Θ 24 – 72 hodin [16].

Hydraulické zatížení	označení	hodnoty	jednotky
Průměrný denní bezdeštný přítok	Q_{24}	436,4	m ³ /d
	Q_{24}	18,2	m ³ /h
	Q_{24}	5,1	l/s
Maximální denní bezdeštný přítok	Q_d	588,2	m ³ /d
Hydraulické zatížení	označení	hodnoty	jednotky
	Q_d	24,5	m ³ /h
	Q_d	6,8	l/s
Maximální hodinový bezdeštný přítok	Q_h	46,6	m ³ /h
	Q_h	12,9	l/s
Maximální průtok biologickou částí ČOV		15,5	l/s

Tabulka 6 Hydraulické zatížení přitékající na ČOV [17]

Návrhové látkové zatížení	označení	hodnoty	jednotky
Chemická spotřeba kyslíku	$CHSK_{Cr}$	303,6	kg/d
Biochemická spotřeba kyslíku	BSK_5	151,8	kg/d
Nerozpuštěné látky	NL	139,2	kg/d
Celkový dusík	N_c	30,4	kg/d
Celkový fosfor	P_c	6,3	kg/d
Parametry na odtoku			
Chemická spotřeba kyslíku	$CHSK_{Cr}$	70,0	mg/l
Biochemická spotřeba kyslíku	BSK_5	18,0	mg/l
Nerozpuštěné látky	NL	20,0	mg/l
Celkový dusík	N_c	8,0	mg/l
Celkový fosfor	P_c	2,0	mg/l

Návrh aktivace			
Koncentrace aktivační směsi	X_c	3,5	kg/m ³
Látkové zatížení kalu	B_x	0,03	kg/(kg.d)
Objemové zatížení kalu	B_v	0,12	kg/(m ³ .d)
Stáří kalu	Θ_x	27	den
Návrh aktivace			
Specifická produkce přebytečného kalu	Y_{OBS}	0,84	
Množství biologického kalu	Q_B	127,85	kg/den
Množství kalu v aktivaci	Y_{AN}	4 386	kg
Návrh dosazovací nádrže			
Látkové zatížení	N_A	6,0	kg/m ² /h
Zóna čisté vody	h_1	0,71	m
Separační zóna	h_2	2,67	m
Akumulační zóna	h_3	1,19	m
Zahušťovací zóna	h_4	0,55	m
Celková hloubka	h_{celk}	5,11	m
Návrh aerace			
Koeficient přestupu kyslíku	α	0,64	
Množství použitého kyslíku	E	5,5	%/m
Množství využitého kyslíku celkem	E_a	19,49	%
Obsah kyslíku ve vzduchu	c_j	0,28	kg/m ³
Doba provzdušňování	t	18,0	hod
Množství vzduchu - denní	Q_{vzd}	14 204,6	m ³ /den
Množství vzduchu - hodinové	Q_{vzh}	591,9	m ³ /h
Provozní oxygenační kapacita	OC	329,3	kg/den

Návrh aerace			
Standartní oxygenační kapacita	OC_{st}	887,3	kg/den
Množství přebytečného kalu celkem	Y_{PK}	159,7	kg/den
Koncentrace kalu	X_K	10,0	kg/ m ³
Předpokládané zahuštění		3	%
Návrh kalojemů			
Objem vzduchu na 1 m ³ kalu	V_{VZ}	1,0	m ³
Objem kalu	Q_k	5,0	m ³ /den
Objem kalojemu	V_k	343,2	m ³
Množství kalu	Q_{VZ}	343,2	m ³

Tabulka 7 Zkrácený hydrotechnický výpočet ČOV [17]

Projektová dokumentace akce Rakvice – ČOV je rozdělena dle stavebních objektů - SO a provozních souborů - PS (viz tabulka 5). Dle stavebních objektů provádí zhotovitel veškeré stavební a montážní práce. Provozní soubory slouží k vystrojení čistírny technologickými prvky a strojní částí.

Stavební objekty	Provozní soubory
SO 01 HTÚ a sadové úpravy	PS 01 Lapák šterku a hrubé předčištění
SO 02 Lapák šterku a hrubé předčištění	PS 02 Čerpací stanice a dešťová zdrž
SO 03 Čerpací stanice	PS 03 Mechanické předčištění
SO 04 Rekonstrukce dešťové zdrže	PS 04 Odvodnění kalu
SO 05 Sdružený objekt ČOV	PS 05 Dmychárna
SO 06 Kalové nádrže	PS 06 Biologické čištění
SO 07 Biologické čištění	PS 07 Kalové nádrže
SO 08 Terciální dočištění	PS 08 terciální čištění

SO 02 L

Stavební objekty	Provozní soubory
SO 09 Trubní rozvody v ČOV	PS 09 ČOV – technologická část
SO 10 Stavební elektroinstalace	PS 10 Dispečink a rádiový přenos
SO 11 Komunikace v ČOV	
SO 12 Deponie odpadních produktů ČOV	
SO 13 Rekonstrukce provozní budovy	
SO 14 Rekonstrukce stávající ČS splaš. vod	
SO 15 Oplocení v ČOV	
SO 16 Demolice	
SO 17 Rozvod vody	
SO 18 Trafostanice a přípojka NN	
SO 19 Přípojka NN	
SO 20 Venkovní osvětlení	
SO 21 Rekonstrukce ČS na odtoku	
SO 101 Stoka A1 a stoky v povodí A1	
SO 102 Stoka C	
SO 103 Přívodní sběrač	

Tabulka 8 seznam stavebních objektů a provozních souborů

SO 02 Lapák štěrku a hrubé předčištění

Lapák štěrku a hrubé přečištění se nově zbudovaly v severní části areálu ČOV na volném prostranství mezi stávajícím oplocením a vodoměrnou šachtou. Objekt je tvořen monolitickým železobetonovým komplexem o délce 11, 65 m, sahající do hloubky 4, 8 m pod původní terén. Do tohoto objektu je zaústěno přítokové potrubí stoky A profilu DN 400 mm. Jihozápadně od objektu jsou vybudovány dvě zpevněné betonové plochy pro kontejnery na štěrk a shrabky.

Lapák štěrku je tvořen rozšířeným žlabem, jehož dno je tvořeno prohlubní o hloubce 1 m. Celý povrch je opacerován silným ocelovým plechem. Pro těžení štěrku z odpadní

vody slouží otočný sloupový drapák, který je ukotven do základového bloku vybudovaného vedle stěny lapáku štěrku o půdorysných rozměrech 1, 2 x 1 m.

Na lapák štěrku navazuje hrubé předčištění, které se pomocí železobetonové stěny dělí na dva souběžné žlaby šířky 0,6 m. V rámci technologie jsou ve žlabech osazeny hrubé ručně stírané česle a strojní hrubé česle [17].



Obrázek 5 Pohled na lapák štěrku a strojně stírané hrubé česle [Zdroj: archiv autora]

SO 03 Čerpací stanice

Čerpací stanice odpadních a dešťových vod plynule navazuje na objekt SO 02. Jedná se o monolitickou železobetonovou zastropenou obdélníkovou nádrž o rozměrech 6, 1 x 4, 4 m a hloubce 6, 9 m pod původním terénem. Nádrž je rozdělena nízkou betonovou stěnou o výšce 2, 3 m, v jejímž dně je umístěno přepouštěcí potrubí profilu DN 300. První část tvoří splaškovou čerpací jímku. Při dešťové události dochází k přepadu naředěných odpadních vod přes dělicí přepážku do další části tvořící dešťovou čerpací jímku. Z dešťové jímky se naředěná odpadní voda pomocí výtlačku NV 3 z TLT profilu DN 300 mm dostane do dešťové zdrže. Nad dělicí přepážkou je umístěna nerezová obslužná lávka z kompozitního materiálu, která zajišťuje přístup k armaturám na výtlačích dešťových i splaškových čerpadel.

Vstupní otvory do čerpací stanice jsou uzavřeny vícedílným pochozím krytem. Na stropní železobetonové desce je svařena konstrukce z ocelových I profilů, sloužící k zavěšení zvedacího zařízení pro manipulaci s čerpadly [17].

SO 04 Rekonstrukce dešťové zdrže

Dešťová zdrž umístěná v západním rohu ČOV je rekonstruována beze změny jejího účelu. Nádrž je podzemní nezastropený železobetonový obdélníkový objekt o půdorysných rozměrech 19,9 x 6,9 m hloubky v nejnižším místě cca 2,7 m, rozdělená na dvě komory – nátokovou komoru o šířce 0,9 m a akumulární komoru o šířce 18 m. Pro rovnoměrné rozdělení průtoku dešťové vody po celém objektu zdrže je nátoková komora opatřena výtakovým potrubím profilu DN 150 mm umístěným ve stěně.

V rámci stavby bylo demontováno stávající shrabovací zařízení u dna včetně kolejnic na zhlaví stěn nádrže a stávající odtokový žlab. V jihozápadní části dešťové zdrže je stěna nadbetonována o 0,6 m nad původní výšku železobetonovou konstrukcí. V rámci dodávky technologie je na zvýšené části osazena vyplachovací nerezová klapka.

Všechny stěny jsou celoplošně sanovány certifikovaným sanačním systémem určeným pro styk se splaškovými vodami.

Součástí dešťové zdrže je nově vybetonována zastropená armaturní šachta půdorysných rozměrů 1,35 x 2,4 m s prostupem pro kanalizaci profilu DN 300 mm pro odvádění dešťových vod zpět do čerpací stanice po dešťové události [17].

SO 05 Sdružený objekt ČOV

Sdružený objekt ČOV je jednopodlažní budova umístěná mezi objekty lapáku šterku, hrubého předčištění a kalovými nádržemi. Objekt je vystavěn z cihelných bloků tloušťky 450 mm o půdorysných rozměrech 16,7 x 8,15 m s pultovou střechou. Sdružený objekt tvoří dvě místnosti – mechanické předčištění a odvodnění kalu. V místnosti mechanického předčištění s rozměry 8,20 x 7,25 m se nachází integrovaný stroj mechanického předčištění, v místnosti odvodnění kalu s rozměry 7,30 x 7,25 m se nachází dekantační odstředivka s prostorem pro umístění dvou kontejnerů. Podlaha obou místností je betonová, opatřená vysoce zátěžovou průmyslovou stěrkou, která je spádovaná do dvou bodových vpustí umístěných ve středu místností. Větrání místností je zajištěno podtlakovým odvodem vzduchu pomocí elektrického ventilátoru, který vzduch žene do dezodoračního filtru.

Dezodorační filtr tvoří plastová nádrž, ve které je umístěn biologický nosič nárostu bakterií. Pro zajištění správné funkce odstranění zápachu je nutné náplň kropit pitnou vodou. K tomuto účelu je vyveden uzávěr pitné vody na stěně sdruženého objektu ČOV

s napojením na hadici. Ve dně filtru je vyvedeno potrubí pro gravitační odtok přebytečné vody do čerpací stanice splaškových vod.

Nosná konstrukce střechy je tvořena dřevěnými vazníky uloženými na vodorovných trámech ukotvených do železobetonových věnců. Střešní plášť tvoří hydroizolační PVC fólie, která je podložena netkanou textilií a uložena na záklopu z dřevoštěpkových desek [17].

SO 06 Kalové nádrže

Kalové nádrže jsou konstruovány jako monoblok, které jsou tvořeny dvěma nadzemními obdélníkovými nádržemi, mezi kterými je umístěna dmychárna a místnost pro rozvaděče. Celý objekt o půdorysných rozměrech 16,3 x 8,5 m je vybetonován z monolitického železobetonu. Kalojemý jsou otevřené nádrže, umístěné na krajích budovy, o rozměrech 7,8 x 4,0 m, které jsou tepelně izolovány extrudovaným polystyrenem.

Mezi kalovými nádržemi je armaturní komora rozdělena na dmychárnu a místnost pro rozvaděče. Místnost rozvaděčů je z důvodu osazení elektrorozvaděčů snížena o 0,7 m a opatřena podtlakovým větráním, zajišťujícím odvádění přebytečného tepla. Podlaha je tvořena ocelovými plechy.

Nad dmychárnou a místností rozvodny je plochá střecha, tvořena železobetonovou stropní deskou tl. 200 mm, tepelně izolovanou polystyrenem. Finální konstrukce ploché střechy je tvořena betonovou mrazuvzdornou dlažbou [17].

SO 07 Biologické čištění

Biologické čištění se skládá ze dvou částí. První část tvoří čtyřkomorový selektor, do kterého je přiveden nátok odpadních vod. Druhou část tvoří kruhová aktivační nádrž.

Splašková voda je přiváděna přítokovým potrubím z kameniny profilu DN 250 mm do komorového selektoru se čtyřmi sekcemi o velikosti 2x2 m a hloubky cca 4,8 m. Selektory jsou vybudovány jako podzemní monolitické železobetonové nádrže, tvořící jeden monoblok s aktivační nádrží – jeden dilatační celek. Pro zajištění proudění odpadní vody mezi jednotlivými selektorovými komorami jsou vybetonovány prostupy ve spodní i horní části stěn. Prostup, který zajišťuje výtok vod ze selektorů do biologické části je umístěn na průměrnou provozní hladinu 3,5 m.

Aktivační nádrž je tvořena podzemní monolitickou železobetonovou kruhovou nádrží o vnitřním průměru 19 m a hloubce 6,2 m. Na dně nádrže je vytvořena železobetonová

pata o průměru 5,5 m, výšce 0,35 m, určená pro vestavbu nerezové dosazovací nádrže dodávané v rámci technologie. Hladina odpadní vody o průměrné výšce hladiny 5,5 m odtéká pomocí kanalizačního potrubí profilu DN 250 mm do třetího stupně čištění. Nerezová vestavba dosazovací nádrže je zavěšena na obslužné lávce tvaru kříže. Obslužná lávka je uložena na vyvýšených železobetonových pilířích nadbetonovaných na obvodové stěně biologické nádrže.

Hydrogeologický průzkum dané lokality zjistil, že hladina podzemní vody zasahuje do konstrukce biologické nádrže. Ustálená hladina podzemní vody je 2 m pod upraveným terénem a vykazuje zvýšený obsah síranů korozivních vůči betonovým konstrukcím. Z tohoto důvodu je provedena sekundární ochrana před působením vztakové síly a agresivním účinkům vody, pomocí čtyř kontrolních a čerpacích šachet a zaplavovacího potrubí s uzavíracím ventilem. Kontrolní a čerpací studny jsou zhotoveny z betonových prefabrikovaných skruží o průměru 1 m opatřených krystalizačním těsnicím nátěrem. Do každé skruže je napojena spodní odvodňovací drenáž z flexibilního PVC o průměru DN 160 mm a horní kontrolní drenáž z flexibilního PCV průměru DN 100 mm. Kontrolní drenáž slouží k signalizaci hladiny podzemní vody, zda se nachází pod úrovní zaplavovacích otvorů. Zaplavovací potrubí je zhotoveno z plastových kanalizačních trub profilu DN 200 mm a propojuje každou kontrolní šachtu nerezovým zaplavovacím ventilem osazeným ve stěně betonové skruže.

V případě budoucího vypouštění odpadní vody z aktivační nádrže je nutná kontrola hladiny podzemní vody kolem objektu, zda se nachází pod úrovní zaplavovacích ventilů. Pokud by podzemní voda nebyla pod úrovní zaplavovacích ventilů, hrozilo by nebezpečí vyplavání aktivační nádrže [17].

SO 08 Terciální dočištění

Objekt terciálního dočištění navazující na aktivační nádrž, je tvořen monoblokem sestávajícím se ze čtyř částí: vypínací a obtokové komory terciálního čištění, zastropenou jímkou vyčištění vody, zastropenou nádrží pro chemické srážení fosforu a komorou pro umístění mikrosítového filtru. Monoblok terciálního čištění je monolitický železobetonový objekt s podzemní a nadzemní částí půdorysných rozměrů 17,05 x 4,1 m založený v hloubce 4,35 m.

Odpadní voda ze sekundárního čištění natéká kanalizační profilu DN 250 mm do vypínací šachty, kde je možné průtok vody nasměrovat do třetího stupně čištění, nebo tento objekt obtokovat.

Při průtoku vody přes terciální čištění voda natéká potrubím přes prostup o rozměrech 350 mm do srážecí nádrže, kde se dávkuje srážedlo fosforu a dochází k jeho míchání pomocí vertikálního míchadla. Po vysrážení odpadní voda natéká do nátokové komory filtru přes prostup o průměru 200 mm, která má oproti původní hloubce nádrže navýšené dno o 0,9 m. Následně je voda vedena přes komoru filtru a odtokovou komoru do kanalizačního potrubí profilu DN 250 mm do šachty NŠ2.

Nad komorami terciálního čištění je nadbetonována mělká záchytná vana, opatřena chemicky odolným nátěrovým systémem, pro automatickou dávkovací stanici srážedla fosforu [18, 20].

SO 12 Deponie odpadních produktů

Deponie odpadních produktů se nachází v místě původní dosazovací nádrže technologické linky ČOV. Jedná se o tři oddělené skladovací boxy s celkovou rozlohou 21,6 x 15 m. Všechna pole jsou stejných rozměrů 6,8 x 14,7 m, vyrobená z monolitického železobetonu. Celý blok je lemován železobetonovou stěnou. V ose každého pole je osazen středový drenážní žlab široký 0,7 m.

Drenážní žlab tvoří podkladní beton tl. 150 mm, hydroizolační cemento-akrylátová stěrka, železobetonové dno tl. 300 a vyspádaná betonová mazanina. Na betonu je vysypáno štěrkové vsakovací lože, které se skládá z kamenné drti 16-32 mm a kamenné drti 8-16 mm tl. 100 mm. Svrchní vrstvu tvoří těžené drobné kamenivo 0-8 mm tl. 70 mm. Ve štěrkovém vsakovacím loži je uložena plastová drenážní trubka průměru DN 150 mm, odvádějící vodu do sběrných šachet, a dále kanalizační přípojkou je odvedněna do vnitroareálové kanalizace.

Do každé sekce je umožněn vjezd nákladních vozidel z přilehlé komunikace. Vjezd je zabrázděn dřevěnými fošnami osazenými ve vodících u-profilech z pozinkované oceli [17].

SO 13 Rekonstrukce provozní budovy

Stávající provozní budova ČOV dále slouží svému účelu, pouze v průběhu rekonstrukce došlo k částečné změně dispozice. Provozní budova je vystavěna z keramických tvarovek

o půdorysných rozměrech 13,5 x 7 m s plochou střechou, která byla nahrazena novou konstrukcí. Nová střecha je pultová se sklonem 2,5°, tvořena dřevěnými vazníky uloženými na původních trámech. Střešní plášť tvoří dřevoštěpkové desky na které je uložena hydroizolační vyztužená PVC fólie tl. 1,5 mm.

Stávající dmychárna byla zrušena a nahrazena skladem náhradních dílů. Dvě místnosti stávajícího sociálního zařízení byly propojeny a dále plní tuto funkci. Příčka mezi stávajícím skladem a místností obsluhy byla vybourána a vytvořena větší místnost, plnící funkci velínu.

V průběhu rekonstrukce byla všechna původní okna a dveře vyměněny za plastové. Současně byla osazena dvojice nová pozinkovaná vrata. Obvodová stěna budovy je zateplena izolačními deskami z polystyrenu tl. 120 mm, v soklové části je osazen extrudovaný polystyren tl. 80 mm [17].



Obrázek 6 Pohled na rekonstruovanou provozní budovu [Zdroj: archiv autora]

SO 21 Rekonstrukce ČS na odtoku

Stávající čerpací stanice splaškových vod do recipientu Trkmanka nacházející se vedle nové biologické linky je rekonstruována. Původní účel je zachován.

Čerpací stanice je vyrobena jako železobetonová spouštěná studna o půdorysných rozměrech 3,5 x 3,5 m a hloubky 3,5 m. Na obvodových stěnách byla nadbetonována železobetonová stropní deska tl. 200 mm.

Během rekonstrukce se původní stropní deska vybourala a nahradila novou železobetonovou stropní desku tl. 250 mm opatřenou pochozím hydroizolačním nátěrem. Stropní deska je uložena na nově nadbetonované stěny cca 0,7 m vysoké nad horním lícem původní desky [17].

SO 101 Stoka A1 a stoky v povodí A1

V rámci projektu ČOV Rakvice byla navržena oprava části stávající jednotné kanalizace v intravilánu obce a vybudování nové stoky pro odkanalizování nedávno vybudovaných nemovitostí.

Stoka A1 je vedena v ose asfaltové komunikace ulice Svislá. Začátek úseku je tvořen kanalizačními rourami z PP profilu DN 300 mm v délce 45 m, na kterou navazuje kanalizace z PP profilu DN 400 mm v délce 161,9 m. V křižovatce ulic Svislá a Dvorní navazuje kanalizace z PP profilu DN 500 v délce 85 m. Stoka A1 je ukončena kanalizací ze sklolaminátových trub DN 600 a 800 mm v celkové délce 166,7 m, která je zaústěna do stoky v ulici Nádražní do stávající stoky DN 800.

Na stoku A1 navazuje kanalizace z PP profilu DN 300 mm v délce 54,20 m. Z ulice Dvorní vede stoka A3 vybudována z plastových PP trubek profilu DN 300 mm délky 105,9 m a profilu DN 500 mm délky 71,60 m, která je ukončená v šachtě A6 v ulici Svislá.

Z ulice Na Kopcích vede stoka A3-1 z polypropylenových trubek profilu DN 300 délky 17 m. Stoka A3-2 zachytává pomocí dvou lapačů LS1 a LS2 extravilánové vody z přilehlých polí přitékající do obce.

Lapače splavenin jsou tvořeny železobetonovou monolitickou otevřenou jímkou opatřenou vodotěsným uzavíracím nátěrem. V přední straně lapače jsou osazeny plastové drenážní trubky DN 100 mm, které navazují na záchytnou betonovou jámu opatřenou dlažbou z lomového kamene. Na dně jámy je před drenážní trůbkou vysypán kamenný zához pro záchyt nečistot z extravilánu. Na lapačích jsou osazeny vtokové mříže usazené na ocelových rámech profilu L.

Poslední část rekonstrukce kanalizace tvoří stoka A4, která odvádí odpadní vody pomocí PP trub DN 300 mm délky 76,50 m. Splašky z této stoky jsou svedeny z ulice Dvorní na začátek úseku stoky A1 do šachty A10 [17].

SO 102 stoka C

Stoka C je nově vybudovaná stoka zachycující splaškové odpadní vody ze dvou rodinných domů umístěných v ulici U Hřiště. Trasa začíná v travnaté nezpevněné ploše a končí v křižovatce s ulicí Na Řádku, kde se napojuje do stávající kanalizace profilu DN 1000 mm v blízkosti areálu sportoviště. Stoka C je vybudována z plastových polypropylenových trubek DN 300 mm v celkové délce 58,40 m. V rámci akce byla provedena přeložka středotlakého plynovodu a vodovodu z litiny DN 100 mm [17].

SO 103 Přívodní sběrač

Tento stavební objekt řeší stávající nevyhovující technický stav příváděcího řadu a revizních šachet vedoucí do nátokové komory čistírny odpadních vod.

V rámci stavby se opravily stávající monolitické šachty PŘ2 a PŘ3 o rozměru 1 x 2,9 m, které jsou rozděleny příčkou na dvě sekce o rozměrech 1 x 1,5 m a 1 x 1,45 m. Původní šachty jdoucí po padesáti metrech byly zrušeny. V šachtě je veden stávající příváděcí řad z betonu profilu DN 1000 mm, který odvádí splaškové vody za bezdeštného průtoku na ČOV. Vedle odtoku na ČOV je vedena odlehčovací stoka profilu DN 1000 mm vedoucí na lomovou šachtu umístěnou před čistírnou. Cca 1 metr nad dnem šachty je stávající odlehčovací betonová stoka profilu DN 800 mm, která vede v souběhu s odtokem na ČOV a odlehčovací stokou. Do této stoky jsou vedeny nařaděné odpadní vody až po vyčerpání kapacity kanalizací DN 1000. Před čistírnou stoka uhýbá do strouhy vedoucí kolem objektu.

Na stávající soutokové a odlehčovací komoře sestávající se z nátokové komory o rozměrech 3,9 x 3,9 m, spojovacího úseku o rozměrech 9,7 x 2,0 m a přepadové komory o rozměrech 3,5 x 4,0 m, která je umístěna u sběrného dvora, došlo k vybourání stropních desek, otryskání povrchu tlakovou vodou a vyspravení betonu vyrovnávací stěrkou. Nová stropní deska je monolitická, železobetonová, tl. 250 mm, opatřena celolitinovými poklopy na vstupu do šachet.

Součástí rekonstrukce čistírny je i oprava lomové šachty umístěné před areálem ČOV. Stávající šachta o rozměrech 3,0 x 4,1 m je zachována ve většině parametrů, zejména ve výšce přelivné hrany a profilu škrťací trati, takže jsou zachovány současné ředící poměry. Oprava šachty spočívala ve výměně prefabrikovaných stropních panelů za monolitickou železobetonovou desku tloušťky 250 mm, úpravě povrchu otryskáním tlakovou vodou a vyspravení betonů sanačním nátěrem [17].

PS 01 Lapák šterku a hrubé předčištění

Odpadní vody přitékají do nátokové šachty NŠ5, která je osazena hradítkem pro možnost škrcení nebo uzavření nátoku na čistírnu odpadních vod. U šachty je umístěna automatická stacionární vzorkovací stanice pro odběr vzorku na přítoku do ČOV. Z šachty NŠ5 vede přívodní potrubí profilu DN 400 mm do lapáku šterku. Zde dochází k usazování šterku, který je těžen strojním sloupovým drapákem šterku s elektropohonem do připraveného kontejneru. Po průchodu lapákem odtékají odpadní vody dále přes stojní hrubé česle, odstraňující plovoucí nečistoty – shrabky. Shrabky jsou transportovány do dopravníku a dále do připraveného kontejneru. V případě poruchy strojně stíraných česlí se uzavře nátok pomocí ručně poháněného stavítka a odpadní voda je vedena do paralelně umístěného žlabu s ručně stíranými česlemi. V zimním období se komora lapáku šterku a hrubého předčištění zakryje odnímatelným vícedílným pochozím krytem [18].

PS 02 Čerpací stanice a dešťová zdrž

Po průchodu hrubým předčištěním natékají odpadní vody do čerpací stanice splaškových vod. V hlubší části objektu jsou osazena ponorná kalová čerpadla splaškových vod pracující v zapojení 2 + 1 tzn., dvě čerpadla pracují paralelně, třetí čerpadlo je záložní. Čerpadla jsou nadimenzována na maximální hodinový splaškový nátok, v provozu se střídají. Odpadní voda je čerpána na kombinovaný stroj mechanického předčištění, kde dochází i k měření množství za pomoci indukčního průtokoměru.

Při dešťové události natéká větší množství odpadní vody, než je kapacita splaškových čerpadel. Odpadní voda přepadá ze splaškové čerpací stanice do dešťové čerpací stanice přes přelivnou hranu. Dešťová čerpadla pracují v zapojení 2 + 1 a jsou nadimenzována na maximální dešťový nátok. Dešťové vody se čerpají do dešťové nádrže, která zachytí první oplach z kanalizačního řádu. Po naplnění kapacity nádrže do výšky cca 1,4 m dochází k odtoku kanalizací přes měrný objekt - Venturiho žlab, kde je umístěn indukční průtokoměr a dále do recipientu. Po skončení dešťové události se voda řízeně vypustí do čerpací stanice pomocí šoupátka s elektropohonem nebo přímo na kombinovaný stroj mechanického předčištění ponorným čerpadlem umístěným v nejnižším místě dešťové zdrže. V případě přepouštění odpadních vod na kombinovaný stroj mechanického předčištění se množství měří indukčním průtokoměrem. Usazené částice na dně dešťové zdrže se vyklízí vyplachovací klapkou plněnou automaticky provozní vodou. K tomuto účelu je osazena armatura s elektrickým pohonem [18].

PS 03 Mechanické předčištění

Odpadní vody z čerpací stanice splaškových vod se čerpají pomocí kalových čerpadel na kombinovaný stroj mechanického předčištění. Před výtlačem do objektu jsou odpadní vody měřeny indukčním průtokoměrem. Současně s odpadními vodami je na mechanické předčištění zaústěn výtlač dešťových vod z dešťové zdrže, na kterém je osazena zpětná armatura a indukční průtokoměr. Před zpětnou armaturou je osazen na odbočce zavzdušňovací ventil, sloužící k zavzdušnění potrubí po skončení čerpání, tedy k usnadnění výtoky zbylého obsahu zpět do zdrže. Výtlač splaškových i dešťových vod je zaústěn do rozšířeného nátokového potrubí a dále dopravován gravitačně do integrovaného zařízení mechanického předčištění.

Mechanické zařízení je sestaveno ze tří výrobků integrovaných v jeden celek: separátorů písku a samočisticích česlí se zavěšeným lisem na shrabky. Odpadní voda nejdříve prochází samočisticími česlemi, kde jsou zachycené shrabky pásem vynášeny do lisu. Zde jsou shrabky propírány, částečně odvodňovány a vynášeny do popelnice. Voda zbavená shrabků prochází dnem nátokového žlabu na hladinu separátoru. V separátoru dochází k sedimentaci těžších částic nerozpuštěných látek, zejména písku. Na dně nádoby je osazen šnek, který usazeninu vynáší. Voda zbavená písku je odváděna přepadovým žlabem k výstupnímu hrdlu. V případě potřeby se do pracího cyklu přivádí technologická voda [14, 18].

PS 04 Odvodnění kalu

Z kalojemů je gravitačně stabilizovaný kal čerpán vřetenovým čerpadlem na odvodnění. Množství kalu na odvodnění je měřeno pomocí indukčního průtokoměru. Pro dosažení lepšího výsledku odvodnění se před zaústěním do odvodňovacího zařízení dávkuje čerpadlem práškový flokulant, který se rozmíchává ve stanici automatické přípravy flokulantu o objemu násypky 1000 l. Roztok flokulantu je připravován v koncentraci 0,1 – 0,2 %. Do stanice je automaticky přiváděna pitná voda přes kulový kohout s elektropohonem. Množství dávkovaného flokulantu je měřeno pomocí indukčního průtokoměru.

Kal s nadávkovaným flokulantem je dopravován do dekantální odstředivky o hydraulické kapacitě max. 4 m³/hod k odvodnění přebytečného kalu. Zahuštěná část kalu z dekantální odstředivky padá do dopravníku, kde je vynášen přes otočný skluz do připravených kontejnerů. Tekutý produkt z vyhnívacího procesu – fugát, který má

charakter odpadní vody, je odváděn potrubím do čerpací stanice splaškových vod [15, 18].

PS 05 Dmychárna

Dmychárna je umístěna mezi kalovými nádržemi v armaturní komoře. Pro čištění odpadní vody biologickým způsobem jsou osazena dmychadla jakožto zdroj tlakového vzduchu. Pro potřeby aktivační nádrže jsou osazena rotační dmychadla o výkonu $10 \text{ m}^3/\text{min}$ a přetlaku 700 mbar. Dmychadla pro aktivaci pracují v zapojení 1+1, tedy každé dmychadlo má plnou kapacitu pro provzdušnění nádrže. Nečinné dmychadlo slouží jako 100 % rezerva. Obě dmychadla je možné regulovat pomocí frekvenčního měniče.

Další dvojice míchadel je určena pro provzdušnění selektorových nádrží. Obě rotační dmychadla o výkonu $5 \text{ m}^3/\text{min}$ pracují v přetlaku 450 mbar. Dmychadla selektorů pracují v zapojení 1+1, tj. jedno míchadlo dodává tlakový vzduch do selektorů a druhé slouží jako rezerva. Kapacita dmychadla je pro potřeby míchadel dostačující [18].

PS 06 Biologické čištění

Po odstranění všech hrubých nečistot a sedimentujících látek v mechanickém předčištění natékají odpadní vody do první komory selektorových nádrží. V každé sekci je osazeno vertikální hyperboloidní míchadlo o průměru 1000 mm zaručující homogenizaci objemu selektorové nádrže a potlačení růstu vláknitých bakterií. Vláknité bakterie způsobují nadlehčování vloček, špatné zahuštění kalu a jeho oddělování v dosazovací nádrži. Součástí míchadel je aerační systém selektorových nádrží, sloužící ke snížení zatížení nutrietů přitékající na ČOV. Oxygenační kapacita selektoru je $168 \text{ kg O}_2/\text{den}$ s dobou provzdušňování 24/den.

Po průchodu selektorovými nádržemi natéká odpadní voda do aktivační nádrže. Nádrž je opatřena ponorným míchadlem o výkonu 4,3 kW a rychlostí otáčení 137 ot/min. Pro manipulaci s ponorným míchadlem je osazeno přenosné otočné zvedací zařízení. K zajištění potřebného vnosu kyslíku do aktivační směsi je osazen membránový jemnobublinný aerační rošt s oxygenační kapacitou $444 \text{ kg O}_2/\text{den}$. Doba provzdušňování je pro daný systém 18 hodin. V aktivační nádrži dochází k biologickému odbourání organických látek. Při provzdušňování nádrže dochází k oxidaci amoniakálního dusíku na dusitany až dusičnany – nitrifikace. Po ukončení provzdušňování dochází k míchání ponorným míchadlem, kdy dochází k redukci dusičnanů na elementární dusík – denitrifikace. Odstraňování nerozpuštěných látek probíhá koagulací a následnou sorpcí

na vločkách tvořící inertní směs. V průběhu čištění dochází k nárůstu organické hmoty, jejíž část se odtahuje jako přebytečný kal do kalové koncovky. Množství přebytečného kalu je měřeno indukčním průtokoměrem. Splašková voda společně s aktivovaným kalem natéká do nerezové vestavby dosazovací nádrže. Dosazovací nádrž tvoří vertikální kruhová vestavba tvaru obráceného komolého kužele o průměru 10 m. Aktivační směs natéká do dosazovací nádrže přes nátokové potrubí vyústěné do svislého válce ve středu dosazovací vestavby. V tomto válci dochází k separaci aktivovaného kalu od vody díky rozdílné objemové hmotnosti. Aktivovaný kal se hromadí na dně vestavby, dochází k jeho zahuštění a odsávání násoskami do kalové jímky zavěšené pod obslužnou lávkou. V kalové jímce je umístěno ponorné čerpadlo vratného kalu s parametry průtoku 10 l/s a čerpadlo přebytečného kalu s parametry průtoku 3 l/s. Vratný kal je čerpadlem přečerpáván před biologické čištění do první selektorové komory nebo přímo do aktivační nádrže. Množství vratného kalu je měřeno indukčním průtokoměrem s přesností do 0,5 % z měřené hodnoty. V případě poruchy obou čerpadel je možné každé z nich nahradit tzv. suchou rezervou [18, 20].

PS 07 Kalové nádrže

Přebytečný kal z biologického stupně je čerpán do dvou kalových nádrží. Každá nádrž je osazena aeračním zařízením k homogenizaci kalu. Provozdušňovací zařízení tvoří středobublinový aerační rošt, který je ke dnu fixován stavitelnými podpěrami. Potrubní rošt a membránové aerační elementy jsou vyrobeny z polypropylenu. Zdrojem tlakového vzduchu je dvojice rotačních dmychadel umístěných v dmychárně o výkonu 2,8 m³/min, pracující s přetlakem 650 mbar. Dmychadla pracují v zapojení 2+0, tedy každé dmychadlo má potřebnou kapacitu pro provzdušnění jedné kalové nádrže. V případě poruchy střídavě provzdušňuje obě kalové nádrže jedno dmychadlo.

Aerobní stabilizace probíhá v aerobních podmínkách za přítomnosti mikroorganismů rozkládajících organickou hmotu, která je oxidována na CO₂ a H₂O. Doba zdržení kalu v kalových nádržích je od 20 do 25 dnů. Výhodou je dosažení nízké hodnoty BSK₅ v kalové vodě. Nevýhodou aerobně stabilizovaného kalu je horší odvodňovací schopnost při odvodnění [4].

V kalových nádržích současně s aerobní stabilizací probíhá i gravitační zahuštění kalu. Pro odtah kalové vody z hladiny slouží nerezová nádoba s pružnou plastovou hadicí osazena na vodících tyčích na okraji nádrže. Odsazená voda odtéká kanalizační ústí do splaškové čerpací stanice. Gravitačně zahuštěný kal je čerpán z kalojemů vřetenovým

čerpadlem o výkonu 1 – 4 m³/hod s otáčkami do 200 ot./min. Před čerpadlem je osazen macerátor sloužící k ochraně před zanesením vláknitým kalem o výkonu 1 – 10 m³/hod. Pro ochranu zpětného nátoků kalu z kalojemů je na výtlaku kalu osazen kulový kohout s elektropohonem. Kalová koncovka je automaticky proplachována provozní vodou z AT stanice.

Úplné vyprázdnění kalových nádrží je možné i fekálním vozem, pro které slouží propojovací potrubí obou nádrží, které je osazeno uzavírací armaturou a koncovkou pro připojení hadice [18, 20].

PS 08 Terciální dočištění

Odpadní voda po sekundárním čištění natéká do nátokové šachty NŠ4, která je opatřena ručně ovládanými stavítky. Proud vody je možné vést do obtokové komory terciálního dočištění nebo do nádrže pro srážení flokulantu. Komora pro srážení je vybavena vertikálním míchadlem pro homogenizaci s pohonem 0,55 kW a rychlostí otáčení 20,3 ot./min.

Dávkování 40 % síranu železitého, který slouží ke srážení fosforu z odpadní vody, zajišťuje automatická dávkovací stanice obsahující dvě membránové čerpadla s maximálním průtokem 11 l/hod. Roztok síranu železitého je uskladněn v dvouplášťové akumulační nádrži o objemu 4 m³ umístěné nad míchací komorou.

Po nadávkování srážedla a rozmíchání voda natéká do komory terciálního čištění, kde je osazen mikrosítový filtr o maximálním průtoku 40 l/s velikostí síta 0,04 mm. Na filtr lze vést předčištěné vody s maximálním obsahem 40 mg/l NL. Na filtru dochází k zachycení vloček vytvořených v rozmíchávací nádrži vytvořených pomocí koagulantu. Z mikrosíta odtéká vyčištěná odpadní vody přes stavitelnou přepadovou hranu do měrné šachty NŠ2, ze které se odebírají vzorky pomocí automatické stanice odběru vzorků. V šachtě NŠ2 je umístěno odtokové potrubí zaústěné do akumulační nádrže provozní vody. Odtud odebírá provozní vodu automatická tlaková stanice provozní vody pracující s průměrným průtokem 7 l/s. K ochraně před mechanickými nečistotami je před ATS osazen filtr mechanických nečistot s velikostí ok 1,2 mm. Provozní voda je využívána pro kombinovaný stroj mechanického předčištění a plnění vyplachovací klapky dešťové zdrže.

Pro ochranu před zpětným nátokem ze Štorchovy příkopy je v šachtě NŠ2 osazeno stavítko s elektropohonem. Z šachty NŠ2 je vyčištěná odpadní voda vedena kanalizací do měrného objektu Parshallova žlabu, kde je měřeno množství odtoku pomocí indukčního průtokoměru [18, 20].

4. PŘEPOČET NOVÉ ČISTÍRNY NA REÁLNÉ PRŮTOKOVÉ HODNOTY

V této části diplomové práce je proveden přepoččet nové čistírny odpadních vod na reálné průtokové hodnoty při započítání skutečně zaměřeného nežádoucího přítoku balastních vod. V průběhu rekonstrukce stokové sítě v obci Rakvice byl pozorován neúměrně velký průtok odpadní vody nízkého naředění i v průběhu suchého období.

Přesné množství těchto infiltrovaných vod mohlo být určeno až po vybudování a zapracování nové čistírenské linky.

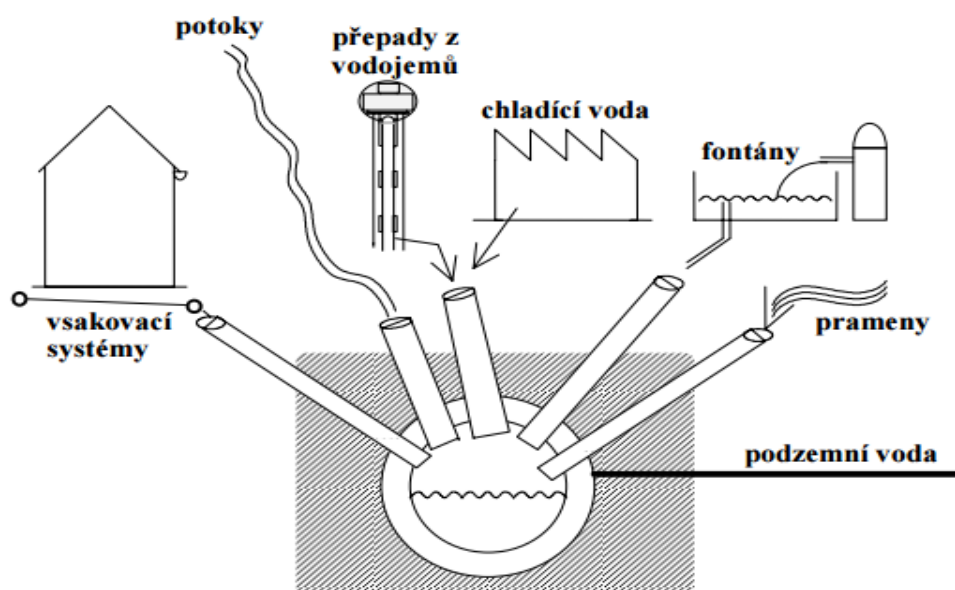


Obrázek 7 Celkový pohled na ČOV [Zdroj: archiv autora]

4. 1 Balastní vody

Balastní vody jsou definovány jako nežádoucí přítok vody do stokové soustavy a kanalizačních přípojek, které se dostávají dovnitř infiltrací z půdního prostředí netěsnostmi stoky a bodovým zaústěním povrchových vod, např. drenáží, dešťových vod z nemovitostí apod. Velký přítok balastních vod prozrazuje špatný stavebně technický stav stokové sítě. Identifikace hlavních zdrojů infiltrovaných vod může vést k efektivní rekonstrukci stokové sítě.

Negativní dopady velkého nátoků balastních vod se projeví na snížení hydraulické kapacity potrubí, vyšším hydraulickým zatížením ČOV, zvýšení čerpaných objemů na čerpacích stanicích a na zvýšení četnosti přepadů v odlehčovacích komorách. U vlastníka a provozovatele stokové sítě se to projeví zvýšením ekonomických nákladů.



Obrázek 8 Schéma zdrojů balastních vod [24]

Pro klasifikaci balastních vod existuje několik způsobů posouzení. Základní metodou je sledování minimálních bezdeštných průtoků Q_{\min} , typicky mezi 3 – 6 hodinou ranní, kdy je předpokládán největší výskyt balastních vod. Odečet nesmí být prováděn po dešťové události, kdy je průtok ovlivněn srážkovým odtokem. Metodu lze spolehlivě použít pro malé aglomerace. V případě měst je metoda nespolehlivá z důvodu produkce splaškových vod i v nočním období.

V bilanční metodě je po delší časové období (6 – 12 měsíců) porovnáván objem fakturované pitné vody v povodí s objemem vody proteklé stokovou sítí. V průběhu měření je nutné průtoky ponížít o odtok způsobený dešťovými vodami, které nepředstavují balastní vody. Velká nevýhoda bilanční metody spočívá v tom, že se všechna fakturovaná voda nedostane zpět do stokového systému (zalévání, úklid, průmysl atd.), proto je metoda pouze orientační.

Metoda denní nerovnoměrnosti hmotnostního toku polutantu je založena na modelu směšovací rovnice surové splaškové vody, jako nositele „hlavního“ znečištění (CHSK, NL) a infiltrované podzemní vody se známou koncentrací polutantu. Pro přesné určení balastních vod je nutné vyhledat jejich zdroje. Metoda denní nerovnoměrnosti je vhodná pro velká povodí, kde se předpokládá velký podíl splaškových vod, ale je časově a finančně náročná [24, 28].

4. 2 Stanovení množství balastních vod

Stanovení množství balastních vod přitékajících na čistírnu probíhalo pomocí základní metody sledování minimálních bezdeštných průtoků Q_{\min} . Hodnoty minimálních průtoků se odečítaly v průběhu zkušebního provozu, kdy se uvedla do provozu řídicí jednotka – PLC, umístěná v místnosti mezi kalovými nádržemi umožňující automatický chod čistírny.

Množství přitékaných odpadních vod se zobrazuje na řídicím PC umístěném v provozní budově z grafu pro PS 03 Mechanické předčištění. Na ose x je znázorněn čas t v sekundách a na ose y se zobrazuje průtok Q v litrech. Pro přesné určení času a průtoku se v kontextové nabídce programu zvolí nástroj pravítka, který přesně určí průsečík hodnot x, y a zobrazí jeho hodnotu v dolním rohu obrazovky. V hodnotě pravítka se zobrazí datum, přesný čas včetně sekund a množství odpadních vod za danou dobu proteklé. Pro lepší orientaci v grafickém zobrazení je na ose y zobrazen popis průtoku přes čerpací stanici, jako velmi nízká hodnota, nízká hodnota, vysoká hodnota a velmi vysoká hodnota průtoku.

Minimální bezdeštné průtoky Q_{\min} se odečetly z historie grafu na ose x, zobrazující čas se zaměřením na noční hodiny od 2:30 do 3:30 hod, kdy je předpoklad největšího nátoku balastních vod na čistírnu. Pro určení přesného nátoku byl vybrán bezdeštný 7. týden v měsíci únoru a 11. týden v měsíci březnu, jejichž hodnoty jsou zprůměrovány (viz tabulka).

Doba odečtu	Ø doba čerpání [h]	Ø doba stání čerpadla [h]	Ø vyčerpané množství [m ³ /den]	Ø vyčerpané množství [m ³ /h]	Ø vyčerpané množství [l/s]
únor/březen	0,3	0,3	135,4	5,64	1,6

Tabulka 9 průměrné hodnoty nátok balastních vod přitékajících na ČOV

Z tabulky je patrné, že zjištěné množství balastních vod je oproti návrhovému množství, které představovalo 15 % Q_{24} , tedy 56,9 m³/den, 0,7 l/s o více jak polovinu vyšší. Vypočítané množství balastních vod nyní představuje 36 % z průměrného bezdeštného přítoku, tedy 135,4 m³/den.

Množství infiltrovaných vod je proměnlivé, tedy specifické pro jednotlivé roční období. Jarní a podzimní měsíce se vyznačují větším množstvím srážek než v letním a zimním období. Lze předpokládat, že v jarních měsících bude nátok balastních vod vyšší, stejně jako hladina podzemní vody. Stanovený přítok $135,4 \text{ m}^3/\text{den}$ je navrhován pro jaro a podzim. Avšak obec leží v místě s velmi vysokou hladinou podzemní vody, místy jen $0,5 \text{ m}$ pod terénem, lze tedy předpokládat, že stanovené množství balastní vody nebude ani v letních a zimních měsících výrazně nižší.

4.3 Hydraulické zatížení ČOV

Po stanovení množství balastních vod (viz kapitola 4. 2) se určí hydraulické a látkové zatížení (viz tabulka 10), které přiteče na čistírnu odpadních vod v Rakvicích. Všechny hodnoty jsou uspořádány do tabulek. Pod nimi jsou znázorněny příklady výpočtů, podle kterých se prováděl přepočet na reálné průtokové hodnoty v biologické části.

Hydraulické zatížení	označení	hodnoty	jednotky
Průměrný denní bezdeštný přítok	Q ₂₄	514,9	m ³ /d
	Q ₂₄	24,50	m ³ /h
	Q ₂₄	6,8	l/s
Maximální denní bezdeštný přítok	Q _d	666,7	m ³ /d
	Q _d	27,80	m ³ /h
	Q _d	7,7	l/s
Maximální hodinový bezdeštný přítok	Q _h	49,92	m ³ /h
	Q _h	13,90	l/s
Minimální hodinový bezdeštný přítok	Q _{h,min}	18,92	m ³ /h
	Q _{h,min}	5,3	l/s
Maximální přítok za deště	Q _{dest}	59,90	m ³ /h
	Q _{dest}	16,60	l/s

Tabulka 10 Hydraulické zatížení ČOV při procentuálním množství balastní vody 36 %

Výpočet hydraulického zatížení je potřebný pro kalkulaci biologické části čistírny odpadních vod. Dimenzování biologického stupně je závislé na soustavě stokové sítě.

U oddílné stokové soustavy – splaškové kanalizace se ČOV dimenzuje na maximální hodinový průtok Q_h . Jestliže se před aktivaci navrhne egalizační nádrž, dojde k vyrovnaní průtoku, pak lze čistírnu dimenzovat na menší průtok.

V případě jednotné stokové soustavy, kde jsou odváděny všechny druhy odpadních vod (splaškové, průmyslové, srážkové) společně jednou sítí, se ČOV navrhuje na maximální denní bezdeštný přítok.

Jelikož se v katastru obce nenachází žádné průmyslové odvětví, nebyly průmyslové vody do výsledného výpočtu započítány.

Průměrný bezdeštný denní přítok Q_{24} : stanoví se vynásobením počtu obyvatel průměrnou produkcí odpadních vod na 1 obyvatele obce.

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_B \text{ [m}^3\text{/d]}$$

$Q_{24,m}$ - průměrný denní přítok odpadních vod [m³/d]

Q_B - přítok balastních vod [m³/d]

Maximální bezdeštný denní přítok Q_d

$$Q_d = Q_{24,m} \cdot k_d + Q_B \text{ [m}^3\text{/d]}$$

$Q_{24,m}$ - průměrný denní přítok odpadních vod [m³/d]

k_d – součinitel denní nerovnoměrnosti

Q_B - přítok balastních vod

Maximální bezdeštný hodinový přítok Q_h

$$Q_{24} = \frac{Q_{24,m} \cdot k_d \cdot k_h + Q_B}{24} \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$Q_{24,m}$ - průměrný denní přítok odpadních vod [m³/h]

k_d – součinitel denní nerovnoměrnosti

k_h – součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti

Q_B - přítok balastních vod [m³/h]

Minimální bezdeštný hodinový přítok $Q_{h,min}$

$$Q_{h,min} = Q_{24,m} \cdot k_{min} + Q_B \text{ [m}^3\text{/d]}$$

$Q_{24,m}$ - průměrný denní přítok odpadních vod [m³/d]

k_{min} – součinitel minimální hodinové nerovnoměrnosti

Q_B - přítok balastních vod [m³/d]

Návrhové látkové zatížení	množství	jednotka
Biochemická spotřeba kyslíku BSK ₅	294,81	mg/l
	151,80	kg/den
Chemická spotřeba kyslíku CHSK _{Cr}	589,63	mg/l
	303,60	kg/den
Nerozpuštěné látky NL - usaditelné	270,25	mg/l
	139,15	kg/den
Dusík celkový N _{celk}	58,96	mg/l
	30,36	kg/den
Fosfor celkový P _{celk}	12,28	mg/l
	6,33	kg/den

Tabulka 11 Hodnoty návrhového zatížení ČOV

Návrhové látkové zatížení vychází z orientačních hodnot specifického znečištění v gramech za den na jednoho obyvatele, které jsou udávány v ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel větší než 500.

Látky	Ukazatel specifického znečištění						
	Látky			Ostatní			
	Minerální	Organické	Veškeré	BSK ₅	CHSK	<u>N_c</u>	<u>P_c</u>
nerozpuštěné:							
a) usaditelné	10	30	40	20	40	1	0,2
b) neusaditelné	5	10	15	10	20	-	-
rozpuštěné	75	50	125	30	60	10	2,3
celkem	90	90	180	60	120	11	2,5

Obrázek 9 Orientační hodnoty specifického znečištění v g/d na 1 obyvatele dle ČSN 75 6401

Biochemická spotřeba kyslíku BSK₅

$$BSK_5 = \frac{(EO \cdot 60)}{1000}$$

EO – ekvivalentní obyvatel (EO = 60 g BSK₅ za den)

Chemická spotřeba kyslíku CHSK_{Cr}

$$CHSK_{Cr} = \frac{(EO \cdot 1200)}{1000}$$

EO – ekvivalentní obyvatel

Nerozpuštěné látky NL

$$NL = \frac{(EO \cdot 55)}{1000}$$

EO – ekvivalentní obyvatel

Dusík celkový N_{celk}

$$N_{celk} = \frac{(EO \cdot 12)}{1000}$$

EO – ekvivalentní obyvatel

Fosfor celkový P_{celk}

$$P_{celk} = \frac{(EO \cdot 2,5)}{1000}$$

EO – ekvivalentní obyvatel

Obecný vzorec účinnosti aktivace

$$E_{AS} = \frac{c_1 - c_2}{c_1} \cdot 100 [\%]$$

C_1 – koncentrace ukazatele na přítoku

C_2 – maximální přípustné znečištění ukazatele ve vyčištěné odpadní vodě

Účinnost BSK_5

$$E = \frac{BSK_5 - BSK_5}{BSK_5} \cdot 100 [\%]$$

Viz obecný vzorec účinnosti aktivace

Účinnost $CHSK_{Cr}$

$$E = \frac{CHSK_{Cr} - CHSK_{Cr}}{CHSK_{Cr}} \cdot 100 [\%]$$

Viz obecný vzorec účinnosti aktivace

Účinnost NL

$$E = \frac{NL - NL}{NL} \cdot 100 [\%]$$

Viz obecný vzorec účinnosti aktivace

Účinnost N_{celk}

$$E = \frac{N_{celk} - N_{celk}}{N_{celk}} \cdot 100 [\%]$$

Viz obecný vzorec účinnosti aktivace

Účinnost P_{celk}

$$E = \frac{P_{celk} - P_{celk}}{P_{celk}} \cdot 100 [\%]$$

Viz obecný vzorec účinnosti aktivace

Návrh aktivace	označení	hodnoty	jednotky
Koncentrace aktivační směsi	X_c	3,5	kg/m^3
Minimální teplota v aktivaci	T_{min}	8	$^{\circ}C$
Maximální teplota v aktivaci	T_{max}	22	$^{\circ}C$
Látkové zatížení kalu	B_x	0,07	$kg/(kg.d)$
Objemové zatížení kalu	B_v	0,26	$kg/(m^3.d)$

Návrh aktivace	označení	hodnoty	jednotky
Stáří kalu	Θ_X	34	den
Specifická produkce přebytečného kalu	Y_{OBS}	0,81	-
Produkce přebytk. kalu biologického původu	-	123,12	kg/den
Produkce přebytk. kalu chemického původu	-	27,50	kg/den
Produkce směsného kalu	-	150,60	kg/den
Množství biologického kalu	Q_B	123,12	kg/den
Množství kalu v aktivaci	Y_{AN}	5 162,50	kg
Objem aktivační nádrže	V_{AN}	1 475	m ³
Návrh dosazovací nádrže	označení	hodnoty	jednotky
Látkové zatížení	N_A	6,0	kg/m ² /h
Hydraulické plošné zatížení	v	0,7	m ³ /(m ² .h)
Návrhová plocha nádrže	S	85,60	m ²
Návrhový objem nádrže	V	479,00	m ³
Kalový index	KI	110	ml.g ⁻¹
Srovnávací objem kalu	VS_{AN}	550	l/ m ³
Zóna čisté vody	h_1	0,75	m
Separační zóna	h_2	3	m
Akumulační zóna	h_3	1,3	m
Zahušťovací zóna	h_4	0,55	m
Celková hloubka	h_{celk}	5,6	m

Tabulka 12 Návrh aktivace a dosazovací nádrže – biologický stupeň

Při přepočtu nové čistírny odpadních vod je zachována původní navržená technologie, tedy nízko zatěžovaná směšovací aktivace se stabilní nitrifikací. Roztok substrátu o výchozí koncentraci přichází do nádrže odděleně od recirkulovaného kalu. Dochází

k úplnému smísení odpadní vody s obsahem aktivační nádrže. Systém pracuje při nízkém koncentračním znečištění, proto je rychlost biochemických reakcí nízká. Tato skutečnost se kompenzuje delší dobou zdržení, tj. jejím větším objemem.

Charakteristické pro tento typ aktivace je rychlost spotřeby kyslíku. V celém objemu nádrže je konstantní, protože je rychlost odstraňování znečištění v celé nádrži stejná.

Výhodou navrženého systému je, že proces denitrifikace a nitrifikace probíhá v jedné nádrži a poměr mezi těmito procesy lze optimalizovat dobou aerace a míchání. Nevýhodou systému je vyšší výkon aeračního zařízení, protože lze kyslík dodat pouze během aerační fáze. Část amonných iontů také uniká do vyčištěné vody v důsledku zkratu, který nastane při okamžitém promíchání přitékající odpadní vody s obsahem aktivace. Nízký koncentrační gradient nacházející se v nádrži vyhovuje vláknitým mikroorganismům a způsobuje provozní potíže zvýšeným rizikem bytění aktivovaného kalu.

Látkové zatížení kalu: hmotnostní množství organických látek přiváděné na 1 kg celkové sušiny kalu.

$$B_X = \frac{Q_d \cdot S_i}{V_X} = \frac{24S_i}{\Theta X} = \frac{B_V}{X} [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}]$$

S_i – koncentrace org. znečištění BSK_5 [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]

X – koncentrace aktivovaného kalu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

B_V – objemové zatížení kalu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$]

Objemové zatížení kalu: hmotnostní množství organických látek přiváděné do 1 m^3 aktivační nádrže za 1 den.

$$B_V = \frac{Q_d \cdot S_i}{V} = \frac{24S_i}{\Theta} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}]$$

S_i – koncentrace org. znečištění BSK_5 [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]

B_V – objemové zatížení kalu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$]

Θ – doba zdržení odpadní vody [h]

Doba zdržení odpadní vody

$$\Theta = \frac{V}{Q_h} [\text{h}]$$

V – objem aktivační nádrže [m^3]

Q_h – maximální hodinový bezdeštný přítok [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

Stáří kalu: podíl hmotnostní sušiny kalu v aktivačním systému a přebytečného kalu odebíraného za den, včetně nerozpuštěných látek unikajícím odtokem.

$$\Theta_x = \frac{XV}{24[X_W Q_W + X_2(Q_1 - Q_W)]} [\text{d}]$$

X_W – koncentrace nerozpuštěných látek v přebytečném kalu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Q_W – objem přebytečného kalu [$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$]

X_2 – koncentrace nerozpuštěných látek [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Způsoby aktivačního procesu	Stáří kalu θ_x ve dnech pro velikost čistírny (podle celkového znečištění vyjádřeného v BSK_5)	
	do 1500 kg/d	přes 6 000 kg/d
- částečná aktivace	Od 2 do 4	Od 1,5 do 3
- úplná aktivace bez nitrifikace	5	4
- aktivace s nitr. a s částečnou stabilizací kalu	$6,4 \cdot k_T^{1)}$	$4,8 \cdot k_T^{1)}$
- aktiv. s nitr. a denitrifikací (kde $f_D = 0,1$ až $0,5$)	$(6,4 \cdot k_T)/f_N^{1)}$	$(4,8 \cdot k_T)/f_N^{1)}$
- aktiv. s nitr. a simultánní denitrifikací	20	-
- aktiv. se stabilizací kalu oddělenou nebo simultánní	25	-
¹⁾ $k_T = 1,103^{(15-T_{\min})}$; $f_N = 1 - f_D$		

Tabulka 13 Hodnoty stáří kalu pro jednotlivé způsoby aktivačního procesu z ČSN 75 6401 [22]

Produkce přebytečného kalu za den

$$P_S = \text{BSK}_5 \cdot Y_{OBS}$$

Y_{OBS} – specifická produkce přebytečného kalu

Specifická produkce přebytečného kalu: produkce je vztažena k přiváděnému znečištění BSK₅.

$$Y_{\text{OBS}} = \left[0,6 \left(\frac{NL}{BSK_5} + 1 \right) \right] - \left[\frac{(0,0432 \cdot F)}{\frac{1}{\Theta_X} + 0,08 \cdot F} \right]$$

$$F = 1,072^{(T-15)}$$

Potřebná zásoba kalu v aktivační nádrži:

$$\Theta_{ZX} = \Theta_X \cdot P_S$$

Θ_X – potřebné stáří kalu [d]

P_S – produkce přebytečného kalu [sušiny.d⁻¹]

Objem aktivační nádrže

$$V = \frac{\Theta_{ZX}}{X} [\text{m}^3]$$

Θ_{ZX} – zásoba kalu v aktivační nádrži [kg]

X – koncentrace sušiny kalu [kg.m⁻³]

Recirkulace kalu v aktivační nádrži

$$Q_r = (Q_D/24) \cdot (R_C/100)$$

Q_d – maximální bezdeštný denní přítok [m³.d⁻¹]

R_c – recirkulační poměr

Objem dosazovací nádrže

$$V = Q_h \cdot \Theta [\text{m}^3]$$

Q_h – maximální hodinový bezdeštný přítok [m³.h⁻¹]

Θ – doba zdržení odpadní vody [h]

Plocha nádrže – povrchové hydraulické zatížení: množství odpadní vody, která je přiváděna na 1 m² plochy nádrže za jednu hodinu.

$$v = \frac{Q_h}{A_D} [\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$$

A_D – plocha nádrže [m²]

Zatížení plochy nerozpuštěnými látkami: hmotnostní množství sušiny aktivovaného kalu přiváděné na 1 m² plochy DN za jednu hodinu

$$N_A = \frac{(Q_h \cdot X)}{A_{DL}}$$

Q_h – maximální hodinový bezdeštný přítok [m³.h⁻¹]

X – koncentrace sušiny kalu [kg.m⁻³]

Separační zóna dosazovací nádrže:

$$h_2 = \frac{0,5 \cdot v \cdot (1+R)}{1-VS_{AN}/1000} [\text{m}]$$

v – hydraulické zatížení [m³/(m².h)]

VS_{AN} – srovnávací objem kalu [l/ m³]

Akumulační zóna dosazovací nádrže:

$$h_3 = \frac{0,3 \cdot X \cdot KI \cdot 1,5 \cdot v \cdot (1+R)}{500} [\text{m}]$$

v – hydraulické zatížení [m³/(m².h)]

X – koncentrace sušiny kalu [kg.m⁻³]

KI – kalový index [ml.g⁻¹]

Zahušťovací zóna dosazovací nádrže:

$$h_4 = \frac{X \cdot KI}{1000} [\text{m}]$$

X – koncentrace sušiny kalu [kg.m⁻³]

KI – kalový index [ml.g⁻¹]

Návrh aerace	označení	hodnoty	jednotky
Teplota vody v letním období	T	20	°C
Hloubka aerace	h	5,6	m
Koeficient endogenní respirace	k_{re}	0,1	
Koeficient přestupu kyslíku	α	0,64	
Rovnovážná koncentrace kyslíku při T	c_s	8,59	g O ₂ .m ⁻³
Zatížení nitrifikovaným dusíkem	B _{NOX}	17,27	kg N.d ⁻¹
Hodinová spotřeba kyslíku	O _{sh}	26	kg O ₂ /hod
Denní oxygenační kapacita	OC α	1 154	kg O ₂ /d
Hodinová oxygenační kapacita	OC α	56	kg O ₂ /h
Množství vzduchu hodinové	Q _{VZh}	1 056,6	m ³ /h
Množství vzduchu denní	Q _{VZd}	25 358,4	m ³ /d

Tabulka 14 Návrh aerace

Aerační systém v aktivační nádrži má dvě hlavní funkce. V první řadě zajišťuje dostatečné množství kyslíku aeračním mikroorganismům (oxygenační účinek) a zabezpečuje homogenizaci obsahu nádrže. Při homogenizaci dochází ke styku aktivovaného kalu s odpadní vodou a dodaným kyslíkem.

Dodávka v kyslíku je v biologické nádrži zabezpečena pomocí jemnobublinného aeračního roštu z membránových elementů vyráběných z termoplastického materiálu. Použití tohoto systému aerace zajistí až 30 % účinnost přestupu kyslíku ze vzduchu v závislosti na hloubce ponoření elementů.

Pro výpočet množství vzduchu byla zvolena hloubka aeračního roštu 0,3 m od dna nádrže, tedy 5,3 m.

Spotřeba kyslíku – aktivovaný kal:

$$O_S = a_s \cdot \frac{E_{biol}}{100} \cdot B + k_{re} \cdot W_s + 3,5 \cdot B_{NOX} \text{ [kgO}_2\text{/d]}$$

B_{NOX} – Zatížení nitrifikovaným dusíkem [kg N.d⁻¹]

B – Zatížení [kg BSK₅ d⁻¹]

k_{re} - koeficient endogenní respirace (viz tabulka 14)

W_s – objem kalu v systému [m^3]

Bx (kg BSK ₅ /kg.den)	k_{re}
$\leq 0,1$	0,1
0,2	0,12
0,3	0,15
0,5	0,18
$\geq 1,0$	0,2

Tabulka 15 koeficient endogenní respirace k_{re}

Hodinová spotřeba kyslíku:

$$O_{Sh} = \frac{1}{16} a_s \cdot \frac{E_{biol}}{100} \cdot B + \frac{1}{24} k_{re} \cdot W_s + \frac{1}{16} 3,5 \cdot B_{NOX} \text{ [kgO}_2\text{/hod]}$$

B_{NOX} – zatížení nitrifikovaným dusíkem [$kg \text{ N} \cdot d^{-1}$]

B – zatížení [$kg \text{ BSK}_5 \text{ d}^{-1}$]

k_{re} - koeficient endogenní respirace (viz tabulka 14)

W_s – objem kalu v systému [m^3]

Denní oxygenační kapacita: množství kyslíku dodané aeračním zařízením.

$$OC_\alpha = \frac{O_s}{\alpha} \cdot \frac{c_{s10}}{c_{s20} - c_u} \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{D_{20}}} \text{ [kgO}_2\text{/den]}$$

O_s – spotřeba kyslíku v aktivaci [kgO_2/d]

c_u – odbourání BSK₅ [gO_2/m^3]

α – koeficient přestupu kyslíku

Hodinová oxygenační kapacita:

$$OC_h = \frac{O_{sh}}{\alpha} \cdot \frac{c_{s10}}{c_{s20} - c_u} \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{D_{20}}} \text{ [kgO}_2\text{/den]}$$

O_{sh} – hodinová spotřeba kyslíku [kgO_2/hod]

c_u – odbourání BSK₅ [gO_2/m^3]

α – koeficient přestupu kyslíku

Množství vzduchu hodinové:

$$Q_{vzh} = \frac{OC_h \cdot 1000}{h \cdot 10} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

OC_h – hodinová oxygenační kapacita [kgO₂/den]

h – hloubka aerace [m]

5. VYHODNOCENÍ A NÁVRH ŘEŠENÍ

V této kapitole se vyhodnotí, jakým způsobem se projeví zvýšený průtok odpadní vody biologickou částí. Výsledky výpočtu jsou shrnuty v tabulkách, následovány slovním vyhodnocením jednotlivých ukazatelů.

Hydraulické zatížení	označení	navrženo	přepočet	jednotky
Průměrný denní bezdeštný přítok	Q_{24}	436,4	514,9	m^3/d
	Q_{24}	18,2	24,5	m^3/h
	Q_{24}	5,1	6,8	l/s
Maximální denní bezdeštný přítok	Q_d	588,2	666,7	m^3/d
	Q_d	24,5	27,8	m^3/h
	Q_d	6,8	7,7	l/s
Maximální hodinový bezdeštný přítok	Q_h	46,6	49,9	m^3/h
	Q_h	13,0	13,9	l/s
Minimální hodinový bezdeštný přítok	$Q_{h,\min}$	11,9	18,9	m^3/h
	$Q_{h,\min}$	3,3	5,3	l/s
Maximální přítok za deště	Q_{dest}	56,0	59,9	m^3/h
	Q_{dest}	15,5	16,6	l/s

Tabulka 16 Porovnání hydraulického zatížení ČOV s reálnými průtokovými hodnotami

Z tabulky 15 je patrné, že při započítání 36 % množství balastní vody se průtok biologickou částí zvýší u všech parametrů. Průměrný bezdeštný přítok nyní činí 6,8 l/s, místo původně vypočteného 5,1 l/s, maximální hodinový přítok na čistírnu může být až 13,9 l/s. Největší přítok při dešťové události stoupl z 15,5 l/s na 16,6 l/s.

Takto vypočítané hodnoty mají vliv na biologické a hydraulické zatížení ČOV. Větší maximální denní přítok odpadních vod ovlivní dimenzování dosazovací nádrže, recirkulace kalu i samotné aktivační nádrže.

Návrh aktivace	označení	navrženo	přepočet	jednotky
Koncentrace aktivační směsi	X _c	3,5	3,5	kg/m ³
Minimální teplota v aktivaci	T _{min}	8	8	°C
Maximální teplota v aktivaci	T _{max}	22	22	°C
Látkové zatížení kalu	B _x	0,03	0,07	kg/(kg.d)
Objemové zatížení kalu	B _v	0,12	0,26	kg/(m ³ .d)
Stáří kalu	Θ _x	27	34	den
Specifická produkce přebytk. kalu	Y _{OBS}	0,84	0,81	-
Produkce přebytk. kalu biol. původu	-	131,1	123,1	kg/den
Produkce přebytk. kalu chem. původu	-	21,7	27,5	kg/den
Produkce směsného kalu	-	152,8	150,6	kg/den
Množství kalu v aktivaci	Y _{AN}	4 386,0	5 162,5	kg
Objem aktivační nádrže	V _{AN}	1 253,2	1 475,0	m ³
Návrh dosazovací nádrže	označení	navrženo	přepočet	jednotky
Látkové zatížení	N _A	6,0	6,0	kg/m ² /h
Hydraulické plošné zatížení	v	-	0,7	m ³ /(m ² .h)
Návrhová plocha nádrže	S	77,28	85,60	m ²
Návrhový objem nádrže	V	431,97	479,00	m ³
Kalový index	KI	110	110	ml.g ⁻¹
Srovnávací objem kalu	V _{SAN}	-	550	l/ m ³
Zóna čisté vody	h ₁	0,71	0,75	m
Separační zóna	h ₂	2,67	3	m
Akumulační zóna	h ₃	1,19	1,3	m
Zahušťovací zóna	h ₄	0,55	0,55	m
Celková hloubka	h _{celk}	5,11	5,6	m

Návrh dosazovací nádrže	označení	navrženo	přepočet	jednotky
Návrhová hloubka	h_{celk}	5,5	5,6	m

Tabulka 17 Porovnání navržené aktivační a dosazovací nádrže a přepočtené na reálné průtokové hodnoty

Přepočet biologické nádrže vycházel ze vstupních hodnot navrženého systému čištění odpadních vod. První tři položky v tabulce 16, jako koncentrace aktivační směsi, minimální a maximální teplota v aktivaci, jsou návrhové parametry vycházející z konkrétní modifikace aktivace.

Následující položka látkového zatížení kalu ukazuje, že po větším nátoku odpadní vody dochází ke zvýšení hodnoty z 0,03 kg/(kg.d) na 0,07 kg/(kg.d). Tento parametr vyjadřuje poměr množství substrátu k sušině aktivovaného kalu. Horní hranice látkového zatížení se pohybuje kolem hodnoty 0,06 kg/(kg.d). Takto zatížený kal je pak náchylnější k bytění, pro jehož potlačení by bylo nutné zvýšit koncentraci kyslíku v aktivační nádrži.

V parametru objemového zatížení kalu, vyjadřující hmotnostní množství substrátu přivedeného do 1 m³ nádrže za den, došlo po přepočtu ke zdvojnásobení původní vypočtené hodnoty. I při hodnotě 0,26 kg/(m³.d) je aktivační proces stále považován za nízko zatížení, jehož limitní zatížení BSK₅ a organického podílu je nad hodnotou 0,40 kg/(m³.d). Po zvýšení této hodnoty došlo k prodloužení doby zdržení v aktivaci a vysokému stáří kalu.

Ve výpočtu produkce směsného kalu, tedy součet kalu biologického a chemického původu, došlo k jeho snížení z 152,8 kg/den na 150,6 kg/den. Tato hodnota však neodpovídá. Po zvýšených hodnotách přiváděného organického znečištění, by mělo dojít k navýšení produkce biologického kalu. Pravděpodobně projektant přičetl další položku, se kterou se v přepočtu nepočítalo, nebo si vytvořil větší rezervu.

Při zvýšeném průtoku odpadní vody je ve výpočtu zjevné, že došlo k navýšení objemu aktivační nádrže o cca 220 m³. Jelikož spolu aktivační a dosazovací nádrž tvoří jeden systém, a podmínky v nich ovlivňují sedimentační, zahušťovací a flokulační vlastnosti kalu, dojde po navýšení objemu aktivace i k navýšení objemu dosazovací nádrže o necelých 50 m³ [29, 30].

Přepočet dosazovací nádrže vycházel ze stejných vstupních hodnot, jako v návrhu sekundárního stupně dle projektové dokumentace. Bylo zachováno látkové zatížení, maximální koncentrace kalu v aktivaci a kalový index. Zvýšený objem průtoku odpadní

vody se projevil na celkovém objemu a ploše dosazovací nádrže. Z tabulky vyplývá, že došlo k navýšení akumulární a separační zóny. Celková hloubka se zvýšila z 5,5 m na 5,6 m. Návrh však počítá v součtu s hloubkou 5,11 m. Projektant tedy vytvořil rezervu cca 40 cm. V přepočtu na reálné průtokové hodnoty s rezervou nebylo počítáno z důvodu neekonomicky hluboké nádrže, i přestože je koncentrace kalové sušiny vyšší.

Návrh aerace	označení	navrženo	přepočet	jednotky
Teplota vody v letním období	T	20	20	°C
Hloubka aerace	h	5,5	5,6	m
Koeficient endogenní respirace	k_{re}	-	0,1	-
Koeficient přestupu kyslíku	α	0,64	0,64	-
Rovnovážná koncentrace kyslíku při T	c_s	8,59	8,59	g O ₂ .m ⁻³
Zatížení nitrifikovaným dusíkem	B _{NOX}	-	17,27	kg N.d ⁻¹
Hodinová spotřeba kyslíku	O _{sh}	-	26	kg O ₂ /hod
Denní oxygenační kapacita	OC _a	-	1 154	kg O ₂ /d
Hodinová oxygenační kapacita	OC _{ah}	-	56	kg O ₂ /h
Množství vzduchu hodinové	Q _{vZh}	591,9	1 056,6	m ³ /h
Množství vzduchu denní	Q _{vZd}	14 204,6	25 358,4	m ³ /d

Tabulka 18 Porovnání návrhového aeračního systému s přepočtenými hodnotami

Při návrhu aeračního zařízení bylo nutné zajistit cirkulační výkon agregátu i splnění podmínky minimální koncentrace rozpuštěného kyslíku (nad 1 mg O₂.l⁻¹). Výpočet také zohlednil faktor přestupu kyslíku, který je kromě zatěžovacích parametrů a hustoty aktivační směsi ovlivněn zejména provozní koncentrací kalové sušiny.

Výpočet dodávky kyslíku do aktivačního systému vycházel z dostupných materiálů od projektanta, ve kterých nebyly uvedeny některé hodnoty, např. koeficient endogenní respirace, zatížení nitrifikovaným dusíkem, hodinová a denní oxygenační kapacita.

Porovnávat lze pouze množství vzduchu hodinové a denní, jejichž hodnota po přepočtu činní skoro dvojnásobek návrhové hodnoty. Takový výsledek lze přičítat větší velikosti aktivace, jelikož se zvýší celková spotřeba vzduchu na objemovou jednotku aktivační nádrže. Další možností zvýšení nárůstu množství vzduchu po přepočtu, může být dán použitými koeficienty a způsobem výpočtu.

Ve stávající realizované čistírně odpadních vod lze z provozních záznamů pozorovat občasné zvýšené průtokové hodnoty v bezdeštném období, což se projevilo zvýšenou maximální hladinou v aktivační nádrži. Současně docházelo k navýšení hladiny v dosazovací nádrži, narušení sedimentační schopnosti aktivovaného kalu a následném uniklu vloček. Zvýšené množství aktivovaného kalu v odtoku z biologické části se projevilo zanesením mikrosítového filtru terciálního dočištění. Při takovémto stavu, lze přiškrtit uzávěr přítoku odpadní vody na čistírnu, kdy dojde ke vzduť v přívodních kanalizačních sběračích. Další možností omezení většího průtoku je přepouštění určitého množství odpadní vody do dešťové zdrže a využít tak její akumulační objem.

5. 1 Návrh řešení - zamezení vniku balastních vod

Příčina nátoku balastních vod na čistírnu odpadních vod je způsobena v největší míře netěsností spojů kanalizačních trub. V průběhu rekonstrukce ČOV byla zjištěna vysoká hladina podzemní vody, která se dle hydrogeologického průzkumu ustálila na dvou metrech pod původním terénem. Na tuto skutečnost je čistírna po stavební stránce uzpůsobena, např. zaplavovacími šachtami na biologické nádrži.

Vysoká hladina podzemní vody se nenachází pouze v okolí stavby, ale i v intravilánu obce Rakvice, zejména v dolní části ulic Dolní, Rybářská, Na Řádku a Družstevní v místě soutokové šachty kanalizačních a přívodních sběračů na ČOV. Vysoká hladina podzemní vody způsobovala problémy v případech opravy poruch na vodovodní síti v těchto místech. Při výkopových pracích na vodovodním potrubí docházelo k sesuvům stěn stavební rýhy a její zaplavování.

Kanalizace v dolní části obce, která není v dobrém technickém stavu, infiltruje okolní vodu, mísí se společně se splaškovými vodami a přivádí je na čistírenskou linku. Tento negativní jev se projeví zejména zvýšeným ekonomických nákladů na provoz čistírny.

Z výše uvedených skutečností bych primárně navrhovala rekonstrukci kanalizační stoky v místech největší infiltrace vody, tedy v dolní části obce. V ulici Rybářská a Na Řádku se nacházejí stoky z železobetonu DN 1000 mm. Zde by bylo obtížné provádět výkopové

práce z důvodu špatné dostupnosti k inženýrské síti, proto by bylo vhodné sanovat kanalizaci pomocí bezvýkopové technologie UV Liner. Tato metoda je založena na vtahování sanačního rukávce ze sklolaminátu a pryskyřice pomocí navijáku do profilu stoky, následném přilnutí na stěny pomocí tlaku a vytvrzením UV lampou. Přípojky jsou dodatečně zapraveny pomocí frézovacího robota nebo klobouky. Kanalizace v ulici Dolní se nachází po obou strachách komunikace v zeleném pásu, takže v těchto místech je možné provést rekonstrukci výkopovou metodou [25].

DN potrubí [mm] UV Liner	Délka úseku [m]	Měrný cenový ukazatel [Kč/bm]	Celková cena [Kč]
1000	862,9	18 300	15 791 070
DN potrubí [mm] Výkopová metoda	Délka úseku [m]	Měrný cenový ukazatel [Kč/bm]	Celková cena [Kč]
800	495,7	13 230	6 558 111
600	268,3	10 380	2 784 954
Celková cena za rekonstrukci potrubí: 25 134 135 Kč			

Tabulka 19 odhad ekonomických nákladů na rekonstrukci stoky výkopovou a bezvýkopovou metodou [26, 27]

DN šachet [mm] UV Liner	Počet šachet [ks]	Měrný cenový ukazatel [Kč/ks]	Celková cena [Kč]
1000	16	13 500	216 000
DN šachet [mm] pref. šachty	Počet šachet [ks]	Měrný cenový ukazatel [Kč/ks]	Celková cena [Kč]
1000	12	21 584	259 008
Celková cena za rekonstrukci šachet: 475 008 Kč			

Tabulka 20 Odhad ekonomických nákladů na rekonstrukci kanalizačních šachet výkopovou a bezvýkopovou metodou [26, 27]

DN přípojky [mm] UV Liner	Počet přípojek [ks]	Měrný cenový ukazatel [Kč/ks]	Celková cena [Kč]
Injektáž přípojky	43	12 500	537 500
DN přípojek [mm] PVC	Počet přípojek [ks]	Měrný cenový ukazatel [Kč/ks]	Celková cena [Kč]
200	52	5 150	267 800
Celková cena za rekonstrukci přípojek: 805 300 Kč			

Tabulka 21 Odhad ekonomických nákladů na rekonstrukci kanalizačních přípojek výkopovou a bezvýkopovou metodou [26, 27]

V tabulkách 11 až 13 jsou znázorněny cenové odhady ekonomických nákladů rekonstrukce kanalizace v celkové délce 1626,9 m, včetně šachet a přípojek. V součtu je celková cena 26 414 443 Kč. Bezvýkopová metoda pomocí UV Liner představuje 63 % z celkové ceny, tedy 16 544 570 Kč. Pokládka nového kanalizačního potrubí tvoří 37 % z celkové ceny, tedy 9 869 873 Kč. Vypočtená cena je pouze orientační a může se lišit v závislosti na skutečném stavu kanalizace. V případě zjištění, že kanalizační sběrač DN 1000 mm není staticky únosný, je nutné zvolit výkopovou metodu.

5. 2 Vyhodnocení účinnosti čistícího procesu nové technologické linky

Původní technologie stavebnicové čistírny HYDROVIT – 500 S nebyl schopný celoročně nitrifikovat. Čistírna neplnila limity nařízené odborem životního prostředí, zejména v ukazatelích amoniakálního dusíku a fosforu, což se negativně projevilo v recipientu zvýšenou náchylností k eutrofizaci vody. Celková účinnost čištění původní technologie byla velmi nízká. Z těchto důvodů se přistoupilo ke kompletní rekonstrukci technologické linky.

Vyhodnocení účinnosti je provedeno za půlroční období, jelikož byla čistírna odpadních vod plně zprovozněna až od září roku 2015. Hodnoty znečištění na přítoku, uvedené v tabulkách, se váží na období od 9/2015 do 6/2016, tedy na období zkušebního provozu.

	Jednotka	Rozhodnutí	Přítok	Odtok	Bilance (t/rok)	Účinnost %
CHSK _{Cr}	mg/l	70	1871,2	46,8		97,5
	kg/den		733,5	17,5		
	t/rok		267,71	6,38	13,3	
BSK ₅	mg/l	18	886,5	6,0		99,3
	kg/den		362,8	2,3		
	t/rok		132,42	0,86	3,42	
NL	mg/l	20	340,0	11,5		96,6
	kg/den		152,4	4,7		
	t/rok		55,61	1,72	3,8	
N-NH ₄	mg/l	8	37,2	1,4		96,2
	kg/den		12,6	0,7		
	t/rok		4,61	0,26	1,52	
P _{celk}	mg/l	2	9,2	0,8		91,3
	kg/den		3,5	0,4		
	t/rok		1,26	0,13	0,38	
N _{celk}	mg/l		70,4	4,2		94,6
	kg/den		25,2	1,8		
	t/rok		9,18	0,65		

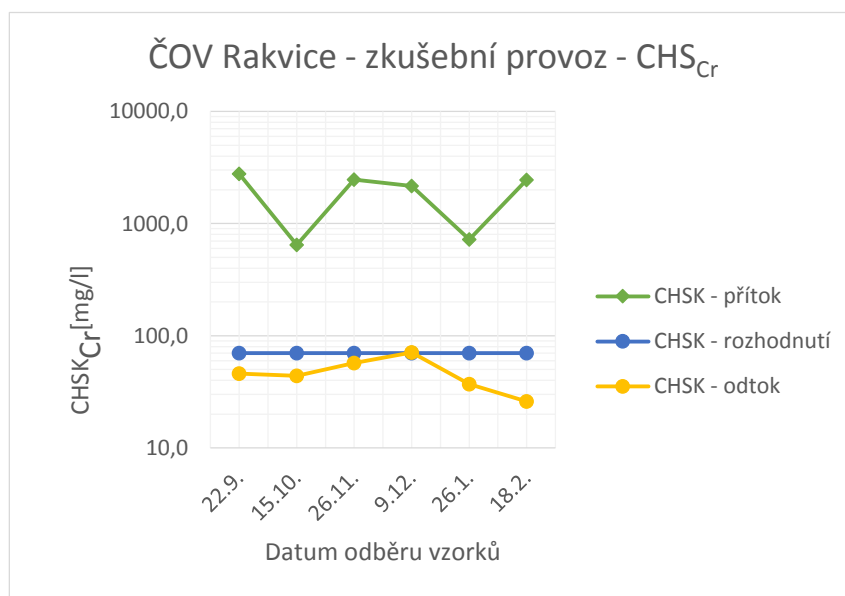
Tabulka 22 Bilance znečištění na ČOV Rakvice ve zkušebním provozu

Bilanční znečištění za půlroční zkušební provoz na přítoku podle BSK₅, odpovídá 6 046 EO. Takové zatížení je způsobeno ovlivněním přítoku v době vinařské kampaně, kdy přitéká vysoké organické znečištění. Rekonstruovaná ČOV se dokázala s tímto výkyvem vypořádat a parametry na odtoku nebyly překročeny.

Účinnost odbourání jednotlivých parametrů je dobrá a přesahuje hodnotu účinnosti nad 95 %. Pouze hodnota celkového fosforu se pohybuje pod účinností 92 %, což bylo způsobeno poruchou dávkování síranu železitého do aktivační nádrže v měsíci únoru.

Z tabulky vyplívá, že navrhovaná technologie čištění plní hodnoty koncentrací vypouštěných vod nařízené odborem životního prostředí. V průběhu odebrání směsného vzorku na přítoku nedocházelo k průtokovým výkyvům.

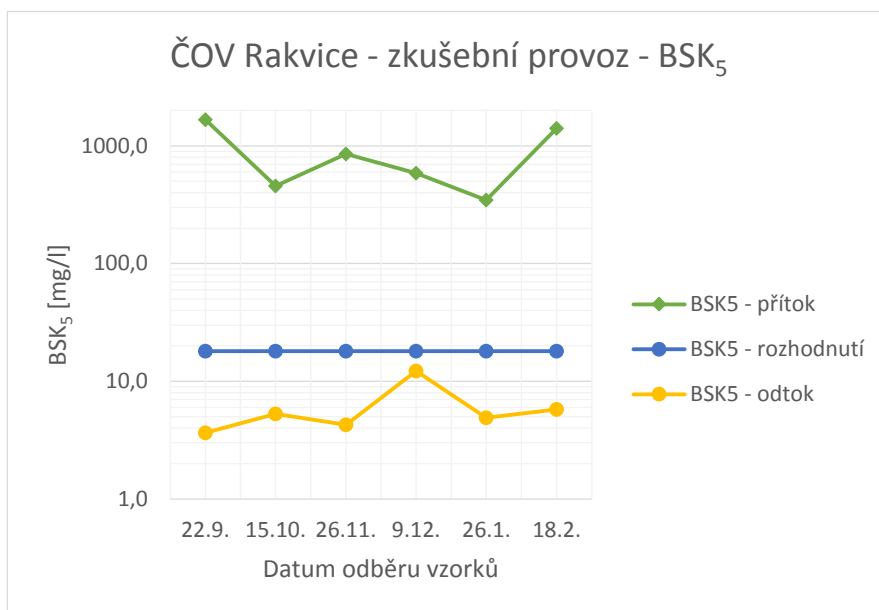
V případě překročení průměrných denních bezdeštných přítoků je však pozorována snížená účinnost čištění. Dochází k navyšování hladiny v aktivační a dosazovací nádrži, což má za následek narušování sedimentační schopnosti kalu a jeho následný odliv do odtoku. Z přepočtu na reálné průtokové hodnoty vyplývá, že má tato skutečnost vliv na plošné rozměry a objemy biologické části (viz kapitola 5). Je pravděpodobné, že by takto navržená čistírna odolávala lépe velkému organickému znečištění na přítoku v době vinařské sezóny.



Graf 1 Porovnání parametrů CHSK na přítoku a odtoku

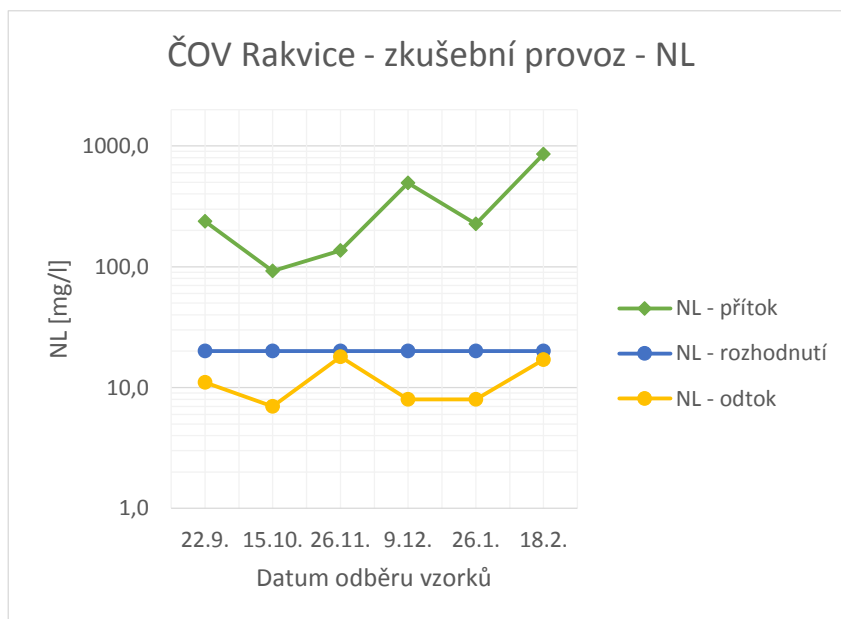
Z grafu č. 1 porovnání přítoku a odtoku parametru CHSK_{Cr} je patrné, že rozklad organických látek v aktivační nádrži vyhověl povoleným limitům. Ve vzorku odebraném v prosinci je však patrné, že hodnota CHSK_{Cr} na odtoku dosahovala maximální koncentrace vypouštěného znečištění. Tato skutečnost je pravděpodobně způsobena příliš vysokou koncentrací aktivační směsi, čímž došlo k enormně vysokým hodnotám stáří kalu a celkovému poklesu metabolické aktivity mikroorganismů a tedy nižší účinnosti

vyčištění. V tomto období došlo k poruše odtahu přebytečného kalu, který musel být z aktivační nádrže odsán fekálním vozem.



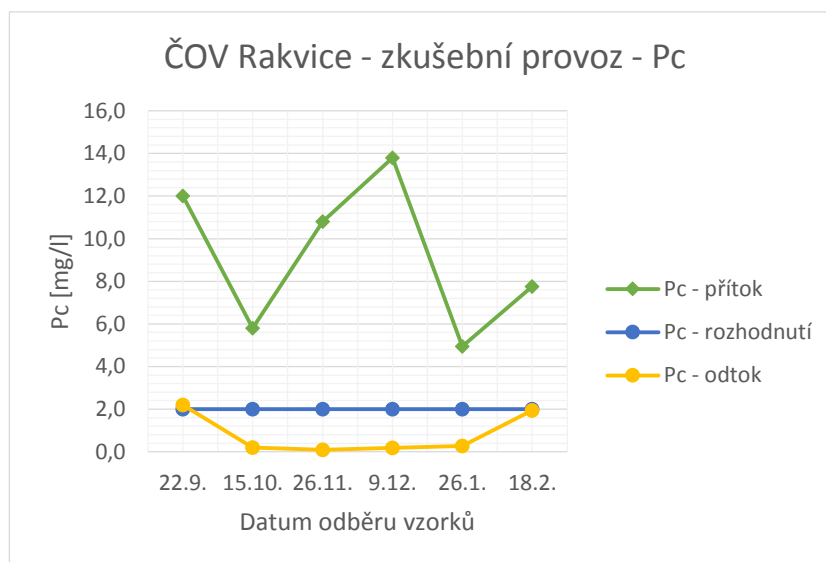
Graf 2 Porovnání parametrů BSK₅ na přítoku a odtoku

Parametr BSK₅ na odtoku z čistírny odpadních vod, nebyl překročen (viz graf 2). V prosinci je patrné, že hodnota BSK₅ dosáhla přípustné koncentrace znečištění. Tato skutečnost je pravděpodobně také způsobena vysokou koncentrací aktivovaného kalu a dlouhou dobou zdržení, která nastala při poruše odtahu přebytečného kalu.



Graf 3 Porovnání parametrů NL na přítoku a odtoku

Hodnoty nerozpuštěných látek se v měsíci listopadu a únoru přiblížily maximální přípustné koncentraci (viz graf 3). V měsíci únoru je patrný vyšší přítok nerozpuštěných látek z důvodu vysokých srážkových úhrnů. Velký průtok vody v kanalizační síti, vyplavil usazené nerozpuštěné látky a odnesl je na čistírnu odpadních vod. Mechanické předčištění zachytilo část takového znečištění, ale většina se dostala do odtoku.



Graf 4 Porovnání parametrů Pc na přítoku a odtoku

Z grafu č. 4 je zřejmé, že hodnota fosforu v měsíci září byla překročena nad povolenou maximální hodnotu 5 mg/l. V tomto období docházelo k zapracování nové čistírenské linky. Dávkování síranu železitého, pro odstranění chemického srážení fosforu, nebylo nastaveno optimálně. Z tohoto důvodu docházelo ke zvýšeným hodnotám fosforu na odtoku.

6. DISKUZE A ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá výpočtem aktivační a dosazovací nádrže po reálně naměřených hodnotách nežádoucího přítoku balastních vod a vyhodnocením účinnosti čistícího procesu nové technologické linky.

Teoretická část diplomové práce popisuje nejprve odkanalizovanou lokalitu a místní hydrologické poměry. Další úsek tvoří technologický a stavební popis původní čistírny typu HYDROVIT – 500 S a nově vybudovanou nízko zatíženou aktivaci se stabilní nitrifikací a se simultánním srážením fosforu.

V experimentální části je vysvětlen pojem balastních vod a jeho následné stanovení pomocí sledování minimálních bezdeštných nočních průtoků. Ze zvýšeného průtoku odpadních vod je stanoveno hydraulické a látkové zatížení biologické části ČOV.

Z vyhodnocení výpočtu čistírny na reálné průtokové hodnoty je patrné, že se zvýšené množství odpadní vody projeví na celém hydrotechnickém návrhu ČOV. V první řadě dojde k navýšení plochy a objemu aktivační a dosazovací nádrže. Vlivem zvýšeného nátoku dochází v objemu aktivace k nárůstu látkového a objemového zatížení kalu. Dosazovací nádrž se prohloubila o 1 m a došlo k navýšení separační a akumulární zóny, čímž by měla být dosažena lepší separační schopnost kalu.

Po zvětšení plochy biologického čištění je nutné dodat větší množství vzduchu pro zajištění cirkulačního výkonu a zabezpečení minimální koncentrace rozpuštěného kyslíku. Hodinové množství vzduchu se zvýšilo dvojnásobně. Tato hodnota je poměrně vysoká. Mohlo by docházet k rozbíjení vloček aktivovaného kalu a tím jeho horší sedimentaci. Výsledný rozdíl může být dán použitými koeficienty a způsobem výpočtu.

Dle vyhodnocení účinnosti čistícího procesu nové technologické linky vyplývá, že čistírna plní hodnoty koncentrací vypouštěných vod nařízené odborem životního prostředí. Účinnost čištění u parametru $CHSK_{Cr}$ dosáhlo 97,5 % a u biologického znečištění BSK_5 na přítoku až 99,3 %. Nerozpuštěné látky dokázala čistírna odstranit s účinností 96,6 %. Nižší účinnost čištění je patrná u celkového fosforu, dosahující 91,3 %. Nižší výsledek je způsoben neoptimálním nastavením dávkování síranu železitého.

Z výsledků je patrné zlepšení odtokových poměrů, které budou mít pozitivní vliv na recipient, a tím minimalizovat jeho příp. eutrofizaci. Vysokou účinnost čištění lze

garantovat v případě vyrovnaného průtoku vody. V případě překročení průměrných denních bezdeštných přítoků je však pozorována snížená účinnost čistění. Je pravděpodobné, že by přepočítaná čistírna odolávala lépe velkému organickému znečištění na přítoku a zvýšeným průtokům vody.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CHUDOBA, Jan, Michal DOHÁNYOS a Jiří WANNER. Biologické čištění odpadních vod. První vydání. Praha: SNTL - nakladatelství technické infrastruktury, 1991. ISBN L16-B3-IV-41f/62218.
- [2] Provozní řád ČOV Rakvice. Břeclav, 2007.
- [3] ČÍŽEK, Pavel, František HEREL a Zdeněk KONÍČEK. Stokování a čištění odpadních vod. Vydání první. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970. ISBN L17-C3-IV-31/77878/X.
- [4] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. Stokování a čištění odpadních vod. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 283 s. ISBN 80-214-2535-0.
- [5] BINDZAR, Jan. Základy úpravy a čištění vod. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009, 251 s. ISBN 978-80-7080-729-3.
- [6] BŘECLAV, HYCO. Rakvice - kanalizace a ČOV - 1. stavba: projektová dokumentace. Břeclav, 1989.
- [7] PETRŮ, Adolf. Údržba a provoz čistíren odpadních vod. První vydání. Brno: Brněnské knihtiskárny, n. p., provozovna 2, 1958. ISBN L17-B2-3-II/7.331.
- [8] BRATISLAVA, Hydroconsult. Kanalizace v ulicích Obchodní a U hřiště: projektová dokumentace. Břeclav, 1975.
- [9] Rakvice [online]. Rakvice: Galileo Corporation s.r.o., 2015 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.rakvice.cz/>
- [10] Mikroregion Lednicko - valtický areál [online]. Lednice: Dobrovolný svazek obcí LVA, 2011 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.lva.cz/>
- [11] Mapy [online]. Praha: Seznam cz, a.s., 1996 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>
- [12] Souhrnná zpráva o vývoji jakosti povrchových vod v povodí Moravy ve dvouletí 2013 - 2014: Povodí Moravy, s. p. Brno, 2015.
- [13] Průvodní list útvaru povrchových vod Plánu oblasti povodí Dyje 2010 - 2015: Povodí Moravy, s. p. Brno, 2015.

- [14] Fontana R [online]. Brno: Fontana, 2016 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/index.php>
- [15] ANDRITZ [online]. Graz: ANDRITZ AG, 2016 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <https://www.andritz.com/index.htm>
- [16] TUČEK, Ferdinand, Jan CHUDOBA a Zdeněk KONÍČEK. Základní procesy a výpočty v technologii vody. Vydání první. Brno: Nakladatelství technické literatury, n. p., 1977. ISBN L16-B3-IV-31f/61873.
- [17] POLÁŠEK, Jan a Vladimír OPPELT. Rakvice - ČOV: dokumentace stavebního nebo inženýrského objektu. Brno, 2014.
- [18] MIKULA, Martin a Jiří FRIC. Rakvice - ČOV: Strojně - technologická část. Brno, 2015.
- [19] Rozhodnutí o povolení k nakládání s vodami a o povolení stavby: Rakvice - ČOV. In: Břeclav: Městský úřad Břeclav, odbor životního prostředí, 2014, ročník 1, MUBR 32261/2014.
- [20] ČESALOVÁ, Marcela. Vyhodnocení zkušebního provozu 9/2015 - 2/2016: Rakvice - ČOV. Brno, 2016.
- [21] Prioritní osa 1 - Zlepšování vodohospodářské infrastruktury a snižování rizika povodní: Oblast podpory 1.1 - snížení znečištění vod. Praha, 2013.
- [22] Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500: ČSN 75 6401. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [23] GRADY, Leslie, Glen DAIGGER, Nanci LOVE a Carlos FILIPE. Biological wastewater treatment. 3. London: IWA Publishing, 2011. ISBN 13 978-1-4200-0963-7.
- [24] Metodická příručka: posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí. Praha, 2009.
- [25] *Relineurope* [online]. Rohrbach: Rohrbach, 2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://relineurope.com/en/index.php>

- [26] Metodický pokyn pro orientační ukazatele výpočtu pořizovací (aktualizované) ceny objektů do Vybraných údajů majetkové evidence vodovodů a kanalizací, pro Plány rozvoje vodovodů a kanalizací a pro Plány financování obnovy vodovodů a kanalizací. In: 428/2001 Sb. Ministerstvo zemědělství, 2010.
- [27] Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury. In: Ústav územního rozvoje [online]. Brno: GRAFEX, spol. s r.o., 2001 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/internetove-prezentace/prumerne-ceny-TI/03-kanalizace-ceny-ti-2015x.pdf>
- [28] MARSÁLEK, J (ed.). Hydroinformatics tools: for planning, design, operation and rehabilitation of sewer systems. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. NATO ASI series. ISBN 07-923-5097-9.
- [29] HLAVÍNEK, Petr a Jiří HLAVÁČEK. *Čištění odpadních vod: Praktické příklady výpočtů*. Vydání první. Brno: NOEL 2000 s.r.o., 1996. ISBN 80-86020-0-2.
- [30] BENDER, J.H. a R.M. CROSBY. Hydraulic characteristics of Activated Sludge Processes. První vydání. U.S.: Environmental Protection agency, 1984. ISBN EPA 600/S2-84-131.

8. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, PŘÍLOH

8. 1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Situace širších vztahů	3
Obrázek 2 Situace čistírny HYDROVIT – 500 S	6
Obrázek 3 Pohled na uskladňovací, šterbinovou a aktivační nádrž	8
Obrázek 4 Pohled na kalová pole	10
Obrázek 5 Pohled na lapák šterku s strojně stírané hrubé česle	18
Obrázek 6 Pohled na rekonstruovanou provozní budovu	23
Obrázek 7 Celkový pohled na ČOV	32
Obrázek 8 Schéma zdrojů balastních vod	33
Obrázek 9 Orientační hodnoty specifického znečištění v g/d na 1 obyvatele dne ČSN 75 6401	38

8. 2 Seznam tabulek

Tabulka 1 M – denní průtoky v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	4
Tabulka 2 N – leté průtoky v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	4
Tabulka 3 Hodnoty koncentrace znečištění ve vypouštěných OV a množství vypouštěného znečištění nařízené OŽP Břeclav	12
Tabulka 4 Povolené množství vypouštěných vod dle OŽP Břeclav	12
Tabulka 5 Celkové snížení likvidovaného znečištění dle OPZP	13
Tabulka 6 Hydraulické zatížení přitékající na ČOV	14
Tabulka 7 Zkrácený hydrotechnický výpočet ČOV	16
Tabulka 8 seznam stavebních objektů a provozních souborů	17
Tabulka 9 průměrné hodnoty nátoku balastních vod přitékající na ČOV	34
Tabulka 10 Hydraulické zatížení ČOV při procentuálním množství balastní vody 36 %	35
Tabulka 11 Hodnoty návrhového zatížení ČOV	37

Tabulka 12 Návrh aktivace a dosazovací nádrže – biologický stupeň	40
Tabulka 13 Hodnoty stáří kalu pro jednotlivé způsoby aktivačního procesu z ČSN 75 6401	42
Tabulka 14 Návrh aerace	45
Tabulka 15 koeficient endogenní respirace k_{re}	46
Tabulka 16 Porovnání hydraulického zatížení ČOV s reálnými průtokovými hodnotami	48
Tabulka 17 Porovnání navržené aktivační a dosazovací nádrže a přepočtené na reálné průtokové hodnoty	50
Tabulka 18 Porovnání návrhového aeračního systému s přepočtenými hodnotami.....	51
Tabulka 19 odhad ekonomických nákladů na rekonstrukci stoky výkopovou a bezvýkopovou metodou	53
Tabulka 20 Odhad ekonomických nákladů na rekonstrukci kanalizačních šachet výkopovou a bezvýkopovou metodou	53
Tabulka 21 Odhad ekonomických nákladů na rekonstrukci kanalizačních přípojek výkopovou a bezvýkopovou metodou	54
Tabulka 22 Bilance znečištění na ČOV Rakvice ve zkušebním provozu.....	55

8. 3 Seznam grafů

Graf 1 Porovnání parametrů CHSK na přítoku a odtoku.....	56
Graf 2 Porovnání parametrů BSK ₅ na přítoku a odtoku	56
Graf 3 Porovnání parametrů NL na přítoku a odtoku	56
Graf 4 Porovnání parametrů Pc na přítoku a odtoku	56